AUS DER II. MEDIZIN. UNIVERS.-KLINIK DER KGL. CHARITÉ ZU BERLIN
(DIREKTOR: GEHEIMRAT F. KRAUS)

EXPERIMENTELLE STUDIEN

ÜBER

DIE KOMBINATION VON HOCHFREQUENZSTRÖMEN UND RÖNTGENSTRAHLEN

(A. D'ARSONVALSTRÖME. — B. DIATHERMIE)

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

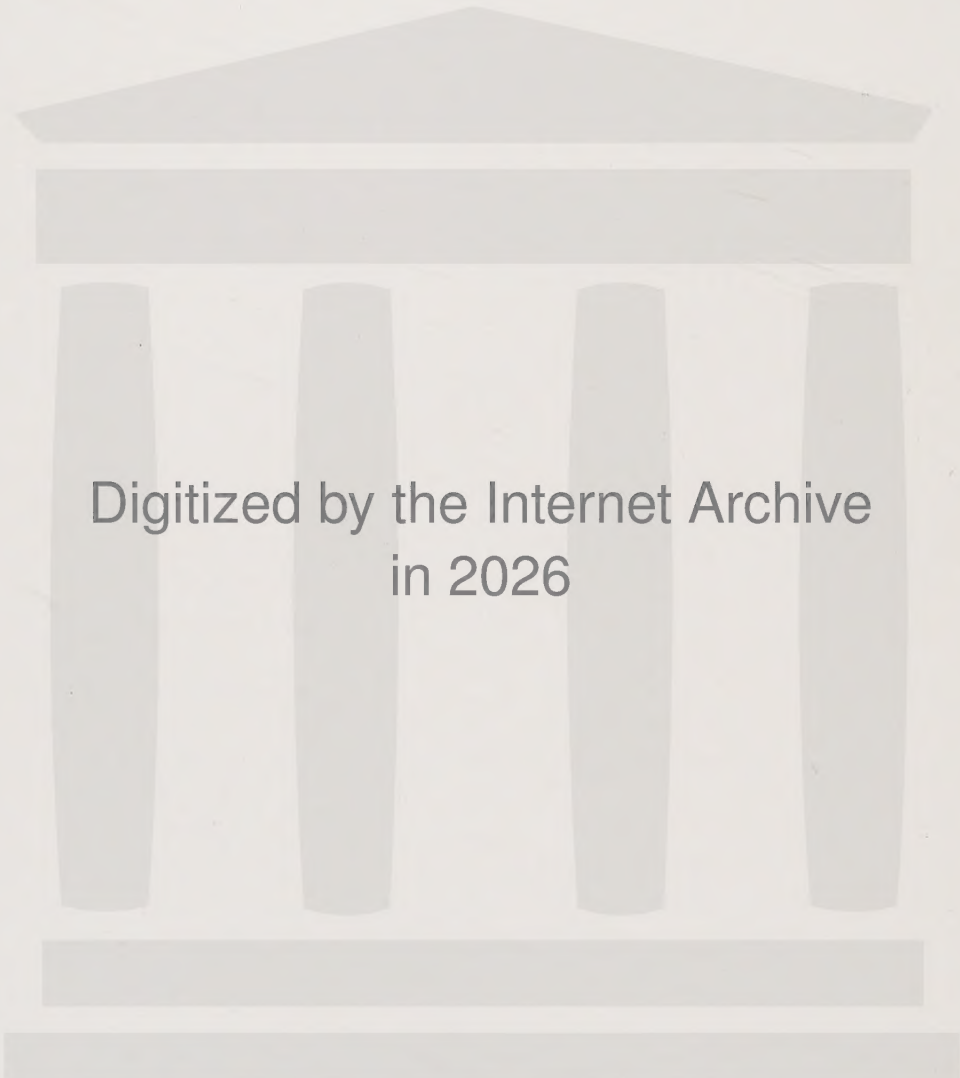
HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT ZÜRICH

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

VORGELEGT VON

EMIL LENZ
MED. PRACT. AUS ÜSSLINGEN (KT. THURGAU)

HAMBURG
LUCAS GRÄFE & SILLEM
1911


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507212_0039

Meinem fernen Bruder

gewidmet.

A. D'Arsonvalströme.

Im Jahre 1892 führte der französische Physiologe d'Arsonval eine neue Form elektrischer Energie in die Therapie ein: die Hochfrequenzströme. Gleichzeitig beschäftigte sich auch Nicola Tesla mit der Erforschung ihrer physikalischen und biologischen Eigentümlichkeiten, namentlich studierte er mit Hilfe seiner grossen Apparate: den „Teslatransformatoren" als erster die effektreichen Erscheinungen der elektrischen Resonnanz. D'Arsonval hat gleich in zahlreichen experimentellen Studien die physiologischen Wirkungen der später oft nach ihm benannten Ströme zu klären gesucht. Eine ganze französische Schule hat diese Untersuchungen weitergeführt und mit grosser Begeisterung die therapeutische Wundertätigkeit dieser Ströme bei allen möglichen Affektionen gepriesen. In Deutschland verhielt man sich dem Hochfrequenz-Enthusiasmus gegenüber ziemlich ablehnend; erst in neuerer Zeit hat sich auch bei uns dank der Fortschritte in der Hochfrequenztechnik und dank erneuter erfolgreicher klinischer Anwendungsformen der Hochfrequenz (Fulguration und Diathermie) das allgemeine Interesse für dieses stets mit so wenig Objektivität beurteilte therapeutische Agenz gehoben.

Wir wollen uns im folgenden nicht mit den mannigfachen Variationen beschäftigen, welche die Hochfrequenz d'Arsonvals im Laufe der Jahre bezüglich klinisch-therapeutischer Anwendungsmöglichkeiten erfahren hat. In ihrer Wertschätzung hat sie ja im Laufe der Zeit dieselben Wandelgänge durchgemacht wie viele anderen therapeutischen Sensationen, die mit ihr die Eigentümlichkeit der einstmaligen glanzreichen Berühmtheit teilen. Allerdings scheint die Hochfrequenz trotz dem erneuten Fiasko in der Fulguration neuerdings doch wieder eine ungeahnte klinische Bedeutung sich zu erringen. Es ist die durch den Ansporn der Funkentelegraphie vervollkommnete Hochfrequenztechnik, die der sinkenden Grösse zu erneuter jugendlicher Kraft verholfen hat.

Ich gedenke hierbei der sicherlich recht bedeutsamen klinischen Tragweite, welche der Hochfrequenz in ihrer modernsten Form als sog. Diathermie oder Thermopenetration gesichert ist. Es ist durch sie das Problem der Erzeugung elektrischer Stromwärme im Innern des lebenden Organismus endgültig gelöst. Uns soll im folgenden nur eine spezielle Anwendung der d'Arsonvalströme interessieren, die mit grossem Optimismus in der röntgentherapeutischen Praxis inauguriert wurde, leider ist sie aber den Aufgaben, die sie zu lösen versprach, bei näherem Zusehen nicht gewachsen.

Die Röntgentherapie subkutan und tiefer gelegener Bestrahlungsobjekte scheitert bekanntlich sehr oft an der beschränkten Dosierung, welche uns die hohe X-Strahlenempfindlichkeit der Haut aufzwingt. Nirgends wird dieser Übelstand so unangenehm empfunden, wie bei

der diakutanen Röntgenbehandlung maligner Tumoren. Wie oft sehen wir eine deutliche Wirkung im Sinne einer Einschmelzung des Aftergewebes durch die X-Strahlen, doch wir haben vielleicht bereits die sog. Erythemdose der Haut in der Strahlenmenge erreicht und die Gefahr der Hautschädigung zwingt uns zu 14tägiger bis dreiwöchentlicher Untätigkeit. In neuerer Zeit sind nun in verschiedener Richtung Versuche gemacht worden, diese eng gezogene Schranke der Hautempfindlichkeit nach Möglichkeit zu umgehen. Die einen Autoren betraten den Weg der Desensibilisierung der Haut, G. Schwarz[1]) und H. E. Schmidt[2]) versuchten dies durch Anämisierung der Haut mittels Kompression, K. Reicher und E. Lenz[3]) inaugurierten eine Methode des Hautschutzes mittels Adrenalinanämisierung der Haut. Werner und Caan[4]) lagerten Tumoren abdomineller Organe vor und nähten sie nach dem Vorgange C. Becks in die Hautwunde ein und liessen sie dauernd in dieser Position zum Zwecke fortgesetzter direkter Röntgenbestrahlung.

Ein anderer Weg bestand in der Sensibilisierung der in der Tiefe liegenden Bestrahlungsobjekte unter Vermeidung gleichzeitiger Sensibilisierung der deckenden Haut. Hierzu eignete sich vor allem die Methode der elektrischen Erwärmung der Tiefe mit Hilfe der X-Bestrahlung vorausgeschickter Diathermie (v. Berndt[5]), Chr. Müller[6]), E. Lenz[7]). Berechtigtes Aufsehen erregte eine eigentümliche Methode solcher kombinierten Behandlung, die zur Verstärkung der Wirkung einfacher Röntgentherapie von Christoph Müller[8]) in Immenstadt inauguriert wurde, besonders weil auch G. Klemperer[9]), gestützt auf die bisher unerreichten therapeutischen Resultate, die er von dieser Methode gesehen, sie aufs wärmste empfahl. Chr. Müller berichtet in der Novembernummer der Therapie der Gegenwart 1909 und Münchener med. Wochenschrift Nr. 28 1910 über seine neue Behandlungsmethode maligner Geschwülste, mit der er ganz aussergewöhnliche Resultate zu verzeichnen hätte. Er behauptet: Durch lokale Applikation von mittelstarken Hochfrequenzentladungen, die von einem Oudinschen Resonator entnommen werden, und durch stark gedämpften Schwingungsverlauf charakterisiert sind, und die er mittels einer Kondensatorelektrode auf die Haut des Bestrahlungsfeldes einwirken lässt, gelinge es ihm, die Haut so zu anämisieren und zu desensibilisieren, dass sie hierauf die 3—4 fache Erythemdose an Röntgenstrahlen ohne irgendwelche Schädigung ertrage; es sei hierdurch möglich, der Tiefe weit energischere Strahlendosen zuzuführen als bisher, wodurch unser röntgentherapeutischer Machtbereich ganz ausserordentlich an Ausdehnung gewinne. Müller bestreicht einige Minuten vor, während und einige Minuten nach der X-Strahlenemission die Haut des zu bestrahlenden Feldes mit der Kondensatorelektrode aus Glas und setzt so die zu bestrahlende Region während längerer Zeit der kombinierten Einwirkung von Hochfrequenzentladungen und Röntgenbestrahlung aus. Er betont im besondern noch, dass es dank dieser Methodik ermöglicht würde, ein grösseres Quantum weicher X-Strahlenarten in der Tiefe zur Absorption zu bringen. Eine physikalische Begründung dieser von den bisherigen Anschauungen erheblich differierenden Auffassung wird nicht gegeben. Endlich rechnet Müller bei seiner Methode auch noch auf die spezifische Einwirkung, welche die Hochfrequenz in genannter Form auf das in der Tiefe liegende maligne Gewebe entfalte.

Exakte Beweise irgendwelcher Art, welche die Richtigkeit aller dieser theoretischen Anschauungen stützen könnten, finden sich in den Müllerschen Veröffentlichungen leider nicht. Auf Grund reiner klinischer Empirie werden diese bedeutsamen Behauptungen formuliert. Vor

[1]) G. Schwarz. Münch. med. Wochenschr. 1909. Nr. 24.
[2]) H. E. Schmidt, Röntgentaschenbuch Bd. III. 1911.
[3]) K. Reicher u. E. Lenz, Münch. med. Wochenschr. 1911. Nr. 24.
[4]) Werner und Caan. Münch. med. Wochenschr. 1911. Nr. 11.
[5]) Zeitschr. f. physik. u. diätet. Therapie Bd. 13, S. 167.
[6]) Therapie der Gegenwart Nov. 1909 u. März 1911, Heft 3. Münch. med. Wochenschr. 1910. Nr. 28.
[7]) E. Lenz, Verhandlg. d. Deutschen Röntgengesellsch. Bd. VII. 1911.
[8]) Chr. Müller l c.
[9]) G. Klemperer, Therapie der Gegenwart. Nov. 1909 u. März 1911, Heft 3.

allem vermisst man auch eine genaue Angabe der verwandten Hochfrequenzapparatur, der Hochfrequenzdosierung, sowie exakte Angaben über die Art der Röntgenstrahlendosierung und der übrigen für die wissenschaftliche Beurteilung einer röntgentherapeutischen Sitzung absolut notwendigen Mitteilungen.

Bei der Wichtigkeit des vorliegenden Problems, vor allem im Hinblick auf neue Aussichten in der physikalischen Therapie der malignen Tumoren, erschien es mir notwendig, die bedeutungsvollen Angaben Müllers einer systematischen experimentellen Untersuchung zu unterwerfen. Meine Untersuchungen erstrecken sich über eine grössere Zahl von Oberflächen- und Tiefenbestrahlungen. Erstes Prinzip war hierbei: Möglichst exakte Dosierung der Röntgenstrahlen (Holzknechts Radiometer und die Hilfsvorrichtung für exakte Röntgendosimetrie nach Verfasser [Centriervorrichtung, Distanzmesser und Dosimeterhalter in einem Instrument vereinigt] leisteten hierbei wertvolle Dienste.)

Nach Möglichkeit versuchte ich die zahlreichen leicht unterlaufenden Fehlerquellen auszuschalten. Ich benützte die von Müller ebenfalls verwendete Art der Hochfrequenzapparatur. Wichtig schien mir es auch, einmal die physikalische Natur und die biologischen Wirkungen der Hochfrequenz als Kondensation nach dem Stande unseres jetzigen Wissens bis ins Detail klar zu legen, denn die biologische Hochfrequenzmystik verdankt ja ihr Dasein in der Hauptsache nur der mangelhaften Orientierung in diesem bereits etwas abseits von der grossen medizinischen Heerstrasse liegenden Gebiet. Mit Rücksicht darauf erlaube ich mir nun einleitend folgende Kapitel etwas ausführlicher zu erörtern:

1. Die Erzeugung der d'Arsonvalströme (Hochfrequenz von geringer Stromstärke aber sehr hoher Spannung).
2. Die physikalische Natur der d'Arsonvalströme.
3. Die biologischen Wirkungen.
4. Die Applikationsformen und die Dosierung.

Die Physik der Hochfrequenzströme ist in ihrem Werden geknüpft an den Namen eines Grossen: Heinrich Hertz. Seine genialen Untersuchungen haben diesem Gebiete eine ungeahnte praktische und theoretische Perspektive eröffnet (drahtlose Telegraphie, experimenteller Beweis der Maxwellschen Gleichungen). Dank der praktischen Anwendung in der drahtlosen Telegraphie hat die Technik und die physikalische Kenntnis der Hochfrequenzströme in kurzer Zeit eine erstaunliche Höhe erreicht. Drahtlose Telegraphie und Hochfrequenztechnik sind allerdings nicht ganz identisch, sie gehen nur im Sender gemeinsam, bis zur Spitze der Antenne. Dort beginnt dann in der Drahtlosen ein neues Reich: „Die Strahlen elektrischer Kraft" von Hertz, die eigentlichen Sendboten des Gedankens, die nicht mehr zur Hochfrequenz im engeren Sinne gerechnet werden.

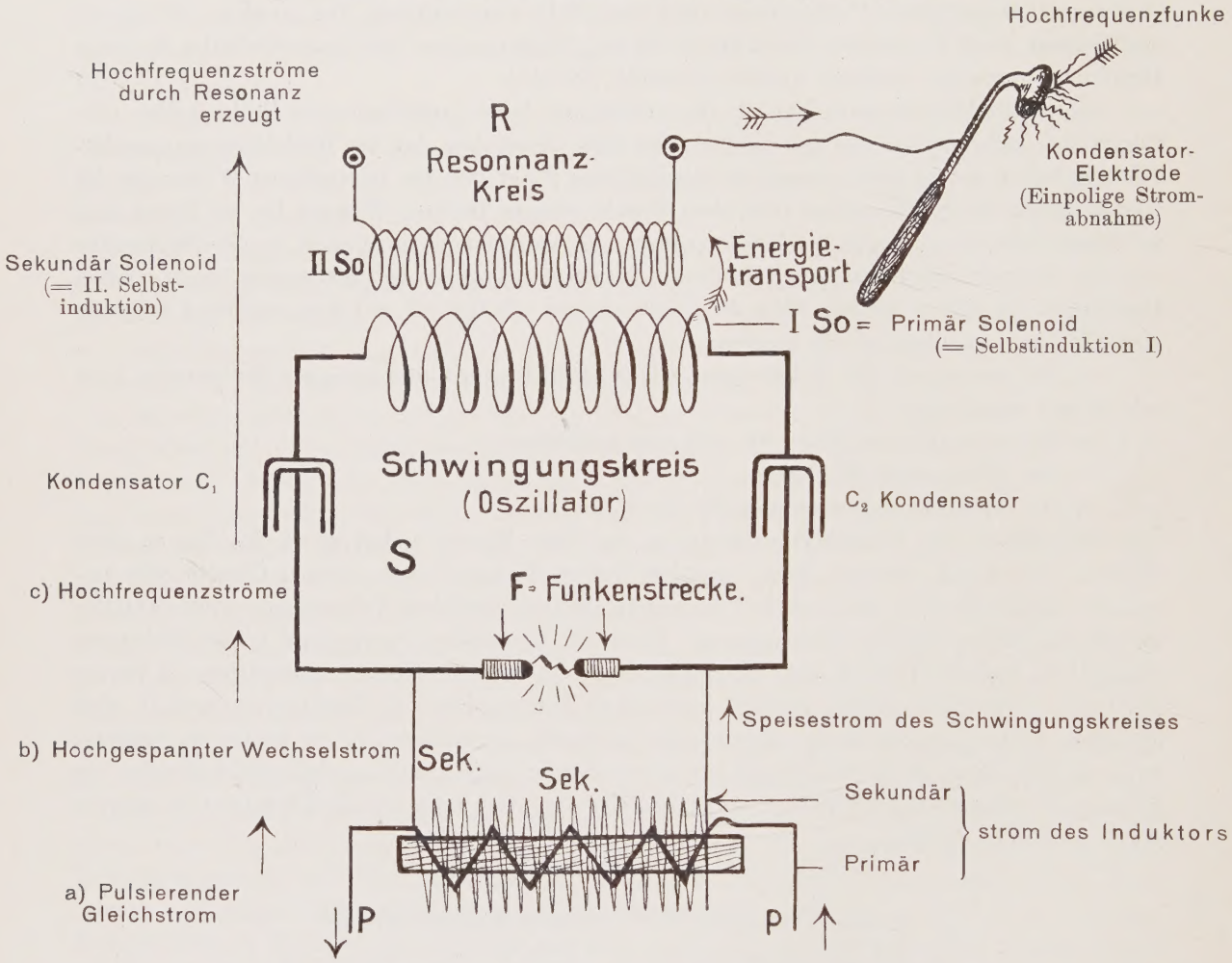
1. Die Erzeugung der d'Arsonvalschen Ströme.

(d'Arsonvalgeneratoren s. Tesla-Transformatoren).

Die Transformation der elektrischen Energie zeigt in einer d'Arsonvalapparatur drei Hauptphasen. Im Primär-(P)Stromkreis des zugehörigen Induktors kreist ein pulsierender, unterbrochener Gleichstrom, der sekundäre Kreis des Induktors transformiert einen Teil der primären Energie in den hochgespannten, Sekundärstrom. Letzterer ist ein Wechselstrom. Vom Sekundärstrom des Induktors fliesst nun der hochgespannte Wechselstrom als Speisestrom einem angeschlossenen neuen Stromkreis zu, dem sog. Schwingungskreise (S). Dies ist der eigentliche Hochfrequenzgenerator. Der Speisestrom ladet die Kapazität der Kondensatoren C_1 und C_2 des Schwingungskreises auf. Wir brauchen als Ladestrom einen Wechselstrom, weil nur dieser die Eigentümlichkeit besitzt, in unterbrochenen Leiterkreisen zu zirkulieren, denn mit einem solchen haben wir es ja bei einem Schwingungskreis, als einem Kondensatorkreis zu tun. Die Kapazität des Kondensators bildet nun gleichsam eine sekundäre

Stromquelle im Schwingungskreise, die wie ein Reservoir fortwährend aus dem Sekundärkreis des Induktors elektrische Energie ansaugt und dem Schwingungskreise zur Verfügung stellt. In einem bestimmten Moment erreicht die Energie in den Kondensatoren eine hohe Spannung, so hoch, dass sie genügt, um den Widerstand der zwischen die Innenbeläge geschaltenen Luftfunkenstrecke (F) zu überwinden. In dem Augenblick besteht in F eine ionisierte leitende Brücke und der Kondensator schleudert mit grosser Stromstärke seine gesamte angehäufte Energie in die Funkenstrecke hinein. Hierbei wird leider ein grosser Teil der elektrischen

Fig. 1. **Schema einer d'Arsonvalschen Hochfrequenzapparatur.**



Energie im Funkenphänomen verbraucht, in Wärme, Licht, Schall und mechanische Energie verwandelt. Durch diesen Energieverlust sinkt die Spannung im Schwingungskreis auf 0, der Widerstand der Funkenstrecke wächst an, der Funke erlischt, und das Energiespiel im Schwingungskreise ruht bis die Kondensatoren sich wieder mit neuer Energiemenge vom Speisestrom gefüllt haben, um dann wieder von neuem zu beginnen. Dieses Spiel der Funkenstösse wiederholt sich in einem d'Arsonvalgenerator pro Sekunde etwa 100 mal. Wie entstehen nun aber die elektrischen Schwingungen? In welchem Teile des Schwingungskreises erhält die elektrische Energie das Charakteristikum, die hohe Periodenzahl, bzw. die hohe Frequenz? Das **oszillierende Prinzip** des Generators sind die Leydener Flaschen. Ihr fortwährender Spannungsaustausch gegen den Schwingungskreis erzeugt in demselben elektrische Schwingungen. Schon Helmholtz erkannte rechnerisch den oszillatorischen Charakter der Entladungen der beiden Beläge

eines Kondensators und Kirchhoff und Thomson fanden hierfür den mathematischen Ausdruck, indem sie die Kondensatorentladungen als gedämpfte Sinusschwingungen charakterisierten. Feddersen beobachtete 1857 das Funkenphänomen eines Kondensatorkreises mittels rotierendem Spiegel und photographischen Platten und brachte den experimentellen Nachweis der oszillatorischen Natur der Leydener-Flaschenentladung. Jeder Leiterkreis mit Kondensator besitzt also die Fähigkeit elektrische Schwingungen zu erzeugen. Der oszillatorischen Kondensatorentladung wird im d'Arsonvalgenerator durch den Funkenüberschlag in der Funkenstrecke F der Weg gebahnt. Um das Wechselspiel von Funkenstrecke und Kondensator zu veranschaulichen, gebrauchen Zimmern und Turchini[1]) einen hübschen Vergleich aus einem bekannteren Gebiet der Physik. Sie sehen im Funkenstoss der Funkenstrecke den Glockenschwengel, welcher die Glocke (Kondensator) anschlägt und in Schwingungen versetzt. Bei jedem Funkenüberschlag entsteht entsprechend einer Entladung des Kondensators eine Gruppe von hochfrequenten Schwingungen, gewöhnlich aus etwa 10—20 Perioden bestehend. Diese Schwingungen erscheinen auch in dem ferneren wichtigen Bestandteil des Schwingungskreises, dem sog. Primärsolenoid (I So). Letzteres besteht aus 18—19 grossen Windungen eines dicken steifen Metalldrahtes und ist gewöhnlich zwischen die innern Beläge der Leydener Flaschen eingeschaltet. Es ist charakterisiert durch seinen geringen Ohmschen Widerstand und durch seine hohe Selbstinduktion. Da die äusseren Beläge der Kondensatoren allen Potenzialschwankungen der inneren auf das genaueste folgen, so liefern sie dem primären Solenoid die elektrische Energie bereits in schwingender Form. Im primären Solenoid erscheint während je $^1/_4$ Periode die Schwingungsenergie als ansteigendes Kraftlinienfeld, das in der nächsten Viertelperiode wieder zusammenstürzt und hierbei seine Energie wieder als Spannung in den Kondensator zurückführt. Dieses während einer Kondensatorentladung mehrmals auf- und absteigende Kraftlinienfeld der primären Selbstinduktion überträgt einen Teil seiner Energie auf einen neuen Leiterkreis, den sog. **Resonanzkreis** (R). Der Resonanzkreis enthält als wichtigsten Bestandteil das sog. Sekundärsolenoid (II So), das zum Unterschied zum primären gewöhnlich aus zahlreichen dünnen Drahtwicklungen besteht, diese Wicklungsverhältnisse bedingen die Transformation der Energie auf sehr hohe Spannungen. Das Sekundärsolenoid wird oft auch als Oudin-Slabyscher Resonator bezeichnet. Von den Polen des Sekundärsolenoids führen Drähte zu den Elektroden. Den Schluss des Resonanzkreises bildet der zwischen die Elektroden geschaltete menschliche Körper. Der Resonanzkreis befindet sich in elektrischer **Kuppelung** mit dem Schwingungskreis S. Als Kuppelung bezeichnet man eine elektrische Verbindung zwischen zwei Wechselstromkreisen derart, dass ihre Induktionslinien sich gegenseitig umschlingen und ein Energietransport von dem einen zu dem anderen Leiterkreise sich abwechselnd vollzieht. Induktiv nennt man die Kupplung, wenn die Spulen der beiden Wechselstromkreise sich nur räumlich genähert, aber nicht leitend verbunden sind, galvanisch hingegen, wenn primäre und sekundäre Spule in leitender Verbindung stehen. Zwischen diesen beiden Kuppelungsarten ist kein prinzipieller Unterschied. Die induktive ist die festere und wird meist bevorzugt. Kreist nun im Schwingungskreis S der hochfrequente Wechselstrom, so erzeugt er in einem bestimmten Moment im Primärsolenoid ein Kraftlinienfeld, das durch Induktion in dem gekoppelten Leiterkreis R speziell im Sekundärsolenoid ebenfalls elektrische Schwingungen erzeugt, die auch noch beim Abfallen des Kraftfeldes im Sekundärkreis solange mit der ihm eigentümlichen Frequenz weiterschwingen, bis durch den Energieentzug die Kraft der Amplituden auch sekundär auf Null gesunken ist. Es findet also bei jedem primären Funkenstoss ein Energietransport zum sekundären s. therapeutischen Stromkreise statt. In der ersten Zeit der primären Schwingungen steigt die Amplitude der Sekundärschwingungen fortwährend an. Unterdessen sind die primären Amplituden infolge des Energieentzuges klein geworden und der Funke in der Funkenstrecke sollte in diesem Augenblicke erlöschen. Es bliebe

[1]) Zimmern et Turchini: Les Courents de haute fréquence et la d'Arsonvalisation.

dann dem Sekundärkreis alle Energie erhalten. Leider bleibt die Funkenstrecke in diesem kritischen Moment infolge der Wärmeträgheit noch genügend ionisiert, und dadurch findet nun ein Rückfluten der Energie vom sekundären zum primären Leiterkreis statt. Dieses Spiel wiederholt sich zwischen primärem und sekundärem Kreis während einer längeren Gruppe von Schwingungen. Es entstehen dadurch sogenannte Schwebungen. Infolge dieser Schwebungen wird der Nutzeffekt im Sekundärkreise in allen d'Arsonvalgeneratoren ein geringer. Sie bedingen einen hohen Energieverlust während des Verlaufes der Hochfrequenztransformation. Hier setzt dann bekanntlich das Prinzip der neuen Wienschen Generatioren für Diathermie ein. Jenes vermeidet durch eine besondere Form der Funkenstrecke und durch die ihm eigentümliche Kuppelung das Rückfluten der einmal im Sekundärkreis gewonnenen Energie und verhindert das Eintreten von Schwebungen nach Möglichkeit. Sind zwei Hochfrequenzkreise in der gegenseitigen Beziehung, wie wir sie geschildert haben, so bezeichnen wir das Verhalten derselben während der Transformation der Energie auch als elektrische Resonanz (in Analogie zum Verhalten zweiter abgestimmten Stimmgabeln). Je besser die Abstimmung zwischen Oszillator und Resonator, d. h. je mehr ihre Eigenschwingungen zeitlich sich decken, um so effektreicher gestalten sich die Erscheinungen der Resonanz. Das Einreten des Optimums von Resonanz zeigt sich durch die von den Polen des Resonators massenhaft ausstrahlenden Büschelentladungen.

Die physikalische Natur der d'Arsonvalströme.

Welche charakteristischen Eigenschaften trägt nun die vom Resonnator zur therapeutischen Verwendung gelangende Energie? Wir sprechen bald von Hochfrequenzströmen, bald von elektrischen Schwingungen. Als elektrische Schwingungen bezeichnen wir die Energieart, wenn wir zum Ausdruck bringen wollen, dass ein Punkt des Stromkreises in äusserst rascher Folge, während einer Zeitdauer von unter 10^{-6} Sekunden, die elektrische Potentiale (+ 0 —) durchläuft. Ebenso gerechtfertigt ist der Ausdruck hochfrequenter Wechselstrom, wir können uns ja die vorliegende Energieform aus einem Wechselstrom niederer Frequenz entstanden denken, indem wir die Zahl der Polwechsel pro Sekunde enorm steigern (bis auf 1—2 Millionen). Die Frequenz des Hochfrequenzstromes, das Charakteristikum, das immer genannt wird, ist eine Konstante des Apparates. Sie ist der reziproke Wert der Dauer einer einzelnen Oszillation oder Periode. Sie lässt sich für jeden Leiterkreis mit Kapazität und Selbstinduktion berechnen nach der

Thomson-Kirchhoffschen Formel $T = 2\pi \sqrt{L \cdot C}$

T = Zeitdauer einer Schwingung,

L = Selbstinduktion,

C = Kapazität des Leiterkreises.

Die hohe Spannung der d'Arsonvalströme wird bedingt durch die Wicklungsverhältnisse von Primär- und Sekundärsolenoid. Sie beträgt 80—150000 Volt. Sie ist auch abhängig von der Maximalamplitude der Primärschwingungen, wächst also mit der Distanz der Funkenstrecke. Therapeutisch ist sie nur zweckmässig, wenn die Hochfrequenz als Funkentherapie zur Anwendung gelangt (Fulguration, Kondensation, Effluvium). Bei direktem Kontakt der Elektrode mit dem Körper, vor allem für den Zweck der Wärmeerzeugung durch den Stromfluss (Diathermie) ist sie zwecklos und bedeutet einen erheblichen Energieverlust.

Wir wenden uns zu einer weiteren in der Literatur oft genannten Eigenschaft der d'Arsonvalströme: **der Dämpfung** oder dem Dekrement s. Amortissement.

Fig. 2 stellt den Spannungsverlauf in einem Punkte eines Schwingungskreises dar, der fortwährend ungedämpft weiterschwingt. Jede folgende Schwingung erreicht hierbei genau dieselbe Höhe der Amplitude wie die vorhergehende. Ungedämpfte Schwingungen kommen nur in Leiterkreisen vor, die keinen Energieverlust aufweisen. Unsere d'Arsonvalapparate sind weit

davon entfernt, diese Bedingung zu erfüllen. Sie ist in therapeutischen Stromkreisen überhaupt unerfüllbar, da ja die Ströme bei der therapeutischen Verwendung sehr hohe Arbeit als Funken und als Stromwärme leisten müssen und hierdurch stets in dem Sekundärkreis durch den hohen Energieentzug eine starke Dämpfung hineingebracht wird. Auch bei der Diathermie gibt es wegen des enormen therapeutischen Energieentzuges niemals ungedämpfte, sondern stets sehr gedämpfte Hochfrequenzschwingungen.

Fig. 2. **Schematisches Oszillogramm** eines Hochfrequenzstromes bei ganz **ungedämpftem** sinusoidalem Schwingungsverlauf.

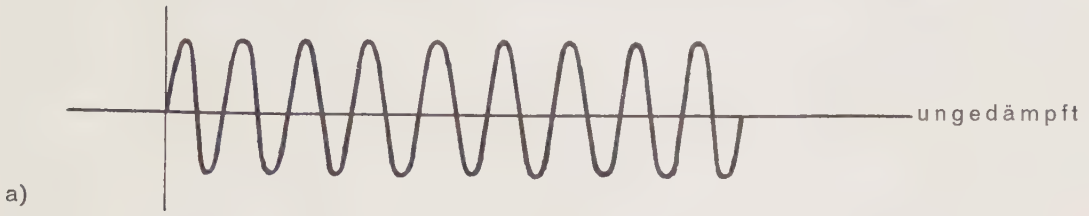
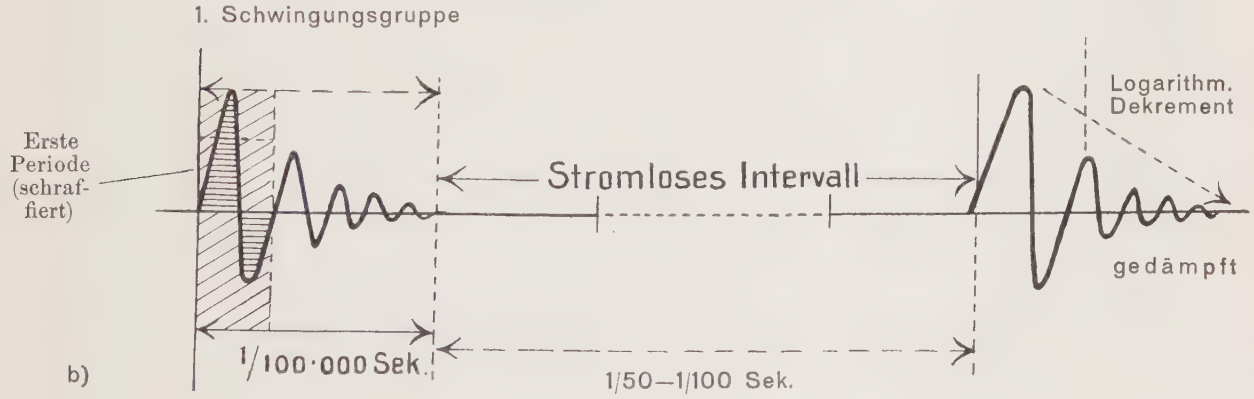


Fig. 3 zeigt den Schwingungsverlauf in einem Punkte eines d'Arsonvalapparates. Das Charakteristische ist hierbei, dass die sich folgenden Amplituden fortwährend an Höhe abnehmen, nach etwa 5—20 Einzelschwingungen wird die Amplitude der Schwingungen gleich Null. Diesen Schwingungsverlauf bezeichnen wir als gedämpft. Die Kondensatorentladungen zeigen eine Dämpfung, die durch eine logarithmische Funktion darzustellen ist (logarithmisches Dekrement). Auf eine solche gedämpfte Schwingungsgruppe folgt eine lange stromlose Pause, während welcher das Energiespiel völlig ruht, bis ein neuer primärer Funkenstoss wieder eine neue Schwingungsgruppe ins Leben ruft. Als Schwingungsgruppe oder

Fig. 3. **Oszillogramm von Hochfrequenzströmen** mit starker **Dämpfung**. (Wiensche Diathermieapparate und d'Arsonvalapparate.)



Eine Periode $= 1 \times 10^{-6}$ Sek. Dauer.

Wellenzug (train d'ondes) bezeichnen wir die jeweils rasch aufeinander folgenden einzelnen Oszillationen oder Perioden. Letztere zeigen immer dieselbe Schwingungsdauer, sie nehmen aber innerhalb einer Schwingungsgruppe logarithmisch in der Höhe ihrer Amplitude ab. Eine Schwingungsgruppe enthält 5—20 Perioden oder 10—40 Polwechsel. Die Gesamtdauer einer Schwingungsgruppe ist eine sehr kurze, sie beträgt ca. $^1/_{100\,000}$ Sekunde. Die der Schwingungsgruppe folgende stromlose Pause dauert $^1/_{50}$—$^1/_{100}$ Sekunde, also 2000 mal länger als die Zeitdauer des Energiespiels.

Jeder Schwingungsgruppe entspricht ein primärer Funkenstoss. Da jede einzelne Schwingungsgruppe im Mittel zehn Perioden zählt und der Kondensator pro Sekunde etwa hundertmal einen Funkenstoss in die Funkenstrecke schleudert, so beträgt die Gesamtzahl der

Schwingungen, die wirklich zur Schwingung gelangen, pro Sekunde $100 \times 10 = 1000$. Wo bleibt da die hohe Frequenz? die oft genannte Schwingungszahl von ein bis mehreren Millionen? Die **Frequenz** (das ist die Schwingungszahl) ist für die d'Arsonvalapparate mit ihrer Dämpfung ein etwas virtueller Begriff. Sie drückt vor allem das auch biologisch Wichtige der Stromform aus, d. h. die kurze Dauer der Einzelschwingung (10^{-6} Sek.), die enorme Raschheit des Polwechsels. Die gewöhnlich genannte virtuelle Schwingungszahl bezeichnet nämlich die Anzahl der Schwingungen (Perioden), die im Stromkreis auftreten würden pro Sekunde, wenn der Stromkreis während der ganzen Dauer der Sekunde ungedämpft im gleichen Tempo weiterschwingen würde. Die Dämpfung ändert nichts an der Dauer der einzelnen Oszillation (Periode). Sie lässt allen Wellen das Charakteristische: ihren ungeheuer raschen Polwechsel, sie schwächt einfach den Gesamteffekt des Energiespiels und hat Schuld an dem geringen Nutzeffekt der Apparate.

Ursachen der Dämpfung.

Träte in den schwingenden Kreisen kein Verlust an elektrischer Energie auf, so würde die einmal erregte Schwingung fortwähreud mit gleicher Amplitude weiterschwingen. Nun ist es aber im Primärkreis vor allem die Funkenstrecke, die im Funkenphänomen enorme Energie verbraucht, besonders auch noch beim Auftreten von Schwebungen. Die Energie der Kondensatorentladung verwandelt sich also zu einem erheblichen Teil im Funken in Wärme, Licht, Schall und mechanische Energie um, nur ein Teil erscheint als hochfrequente Schwingung im Sekundärkreis für die therapeutische Verwendung. Auch in den Sekundärkreis wird durch das Einschalten des menschlichen Körpers oder von Zwischenfunkenstrecken (Fulguration) eine starke Dämpfung hineingebracht.

Die Stromstärke der d'Arsonvalströme ist wegen des geringen sekundären Nutzeffektes eine geringe. Wir messen die Intensität von Hochfrequenzströmen mit Hitzdraht-Milliampèremetern und bezeichnen als mittlere Stromstärke des hochfrequenten Wechselstromes die Stärke eines Gleichstromes, der unter denselben Verhältnissen denselben Wärmeeffekt aufwiese. Die gewöhnlichen d'Arsonvalapparate liefern im Maximum 80—300 Milliampères. Es würde uns zu weit führen, den Ursachen des geringen Nutzeffektes der d'Arsonvalgeneratoren bis ins Detail nachzugehen. Der Hauptpunkt, den man in Betracht ziehen muss, wenn wir den Fortschritt der Diathermieapparate gegenüber den d'Arsonvalapparaten verstehen wollen, liegt in der Beschaffenheit der Funkenstrecke. In ihr liegt auch das Geheimnis des Wienschen Diathermie-Generators, der ja neuerdings imstande ist, Stromstärken von fünf und mehr Ampères im Resonanzkreis zur therapeutischen Verwendung zur Verfügung zu stellen.

Fassen wir noch einmal kurz zusammen, was eigentlich einen d'Arsonvalstrom physikalisch charakterisiert und in welchen Eigentümlichkeiten eine „millionenfache Variation“ (Müller, Dessauer) rein physikalisch eventuell möglich ist.

Die physikalische Natur eines d'Arsonvalstromes charakterisiert:

1. Die hohe Frequenz (doppelt so hoch ist die Polwechselzahl pro Sekunde). Die Frequenz ist eine Konstante des Apparates, sie beträgt über 10^6 pro Sekunde, ist der reziproke Wert der Schwingungsdauer: $T = 2\pi \sqrt{L \cdot C}$.

2. Die Hochspannung, abhängig von den Transformationsverhältnissen zwischen den Spulen, variabel durch Verschiebung des Resonators, durch Änderungen der Länge der primären Funkenstrecke (ändert Maximalamplitude).

3. Die Dämpfung, bei allen d'Arsonvalapparaten ziemlich stark, im Sekundärkreis abhängig auch von der Höhe des therapeutischen Energieverlustes.

4. Die Anzahl von Schwingungsgruppen (train d'ondes) pro Sekunde, gewöhnlich ca. 100. Sie wächst mit der Stromzufuhr aus dem Induktor, und wird kleiner bei längerer der Funkenstrecke. (Bei Diathermieapparaten Zahl der Schwingungsgruppen bis zu 20000 pro Sekunde)

5. Die Stromstärke im Resonanzkreis, abhängig von der Grösse der Kondensatoren, dem Kuppelungsverhältnisse, der Beschaffenheit der Funkenstrecke, der primären Stromzufuhr (Speisestrom des Induktors, Unterbrechungszahl desselben).

Biologische Wirkungen.

Allgemeines Verhalten der Hochfrequenzströme im Tierkörper.

Bringen wir einen Menschen mittels befeuchteter Elektroden mit dem therapeutischen Stromkreis einer Hochfrequenzapparatur in Kontakt, so zeigt sich die auffallende Erscheinung, dass trotz der nicht so unbedeutenden Stromstärke der Mensch nicht das geringste Stromgefühl wahrnimmt. Die Hochfrequenzströme scheinen beim Stromfluss für den ganzen neuromuskulären Apparat völlig reizlos zu sein. Diese Wirkungslosigkeit auf Nerven und Muskeln ist im Laufe der Zeit verschieden erklärt worden. Korthals und E. T. Houston nahmen an, dass sich Hochfrequenzströme verhielten ähnlich wie statische Entladungen und nur die Oberfläche des menschlichen Körpers betreten. D'Arsonval trat zuerst für den Tiefgang der Hochfrequenzströme ein und erklärte ihre biologische Reizlosigkeit dadurch, dass er annahm, unser neuromuskulärer Apparat könne bei Wechselströmen nur im Bereich einer beschränkten Anzahl von Schwingungen pro Sekunde mitschwingen. Die Perzeption bliebe aus diesem Grunde aus, sobald die Frequenz des Stromes diese biologische Breite überschreite. Nernst[1]) hat 1897 durch exakte Widerstandsbestimmungen den experimentellen Nachweis gebracht, dass organisches Gewebe die Stromlinien von Hochfrequenzströmen nicht auseinander drängt. Einthoven kam durch Rechnung zum selben Resultat. Die Erfahrungen d'Arsonvals und die experimentellen Untersuchungen Nernsts sprechen entschieden für den Tiefgang der Hochfrequenzströme, und wir werden für alle therapeutischen Betrachtungen in Zukunft den Stromverlauf der Hochfrequenz im Tierkörper mit demjenigen des galvanischen Stromes identifizieren. Die heute allgemein angenommene Erklärung der biologischen Reizlosigkeit der Hochfrequenzströme schliesst sich an die Nernstschen Theorien[2]) über das Wesen der elektrischen Reizung an. Nach Nernst erzeugt der Fluss eines elektrischen Stromes in einem Leiter zweiter Klasse, wie es das organische Gewebe darstellt, im wesentlichen keine anderen Wirkungen als Ionenverschiebungen. Hierbei entstehen infolge der eigenartigen Struktur des organischen Gewebes an der Grenze von wässeriger Lösung und Protoplasma in der Nähe der semipermeablen Zellmembranen Änderungen der Salzkonzentration, Konzentrationsdifferenzen zwischen den angrenzenden Medien, die wir als Ursache des elektrischen Nervenreizes anzusehen haben. Besteht diese Auffassung zu Recht, sind Konzentrationsdifferenzen die Ursache des Nervenreizes, so sind die quantitativen Verhältnisse bei der Nervenerregung einer mathematisch-physikalischen Untersuchung zugänglich und Nernst und seine Schule haben für alle Formen des elektrischen „Momentanreizes" durch Integration von den Verhältnissen entsprechenden Differentialgleichungen theoretische Gesetzmässigkeiten (Formeln) aufgestellt, die im wesentlichen durch die Erfahrungen bestätigt werden konnten. Für das Zustandekommen eines Reizes durch Wechselstrom von sinusoidaler Welle gilt folgende einfache Beziehung:

$$\frac{J}{\sqrt{n}} = K \qquad \text{Nernstsches Quadratwurzelgesetz}$$

(für Zustandekommen eines Nervenreizes durch Wechselstrom)

$$J = K \cdot \sqrt{n}$$

wobei J = minimale Stromstärke, welche eben noch einen Reiz bewirkt (Schwellenwert).
n = Wechselzahl des Stromes.
K = konstant.

Die für das Zustandekommen eines Reizes bei Wechselstrom eben noch genügende Stromstärke wächst proportional der Quadratwurzel aus der Frequenz. Über die rigorose Gültigkeit der Formel für sehr hohe Frequenzen herrscht noch sehr grosse Meinungsverschiedenheit (Einthoven, Wertheim-Salomonson, Nernst und Barrat, V. Zeyneck und v. Berndt), und zwar wird von den einen das durch das Experiment gefundene J grösser von den anderen

[1]) Nernst, Wiedemanns Annalen, 1897, S. 60.
[2]) Nernst in Boruttaus Handbuch der ges. med. Anw. der Elektrizität.

kleiner angegeben als der Berechnung entspräche. Diese Differenzen spiegeln die Schwierigkeit der Erzeugung reiner Hochfrequenzströme. Wie nun auch die definitive Lösung sei, die Tatsache der Abnahme der Reizkraft mit der Frequenz besteht. Praktisch können wir wahrscheinlich bei Einhaltung einer gewissen Höhe der Frequenz (um 10^6) mit völliger Reizlosigkeit rechnen.

Faradoide Reizwirkungen entstehen bei Hochfrequenzapparaten nur bei unregelmässigem Gang der Apperatur. Es entstehen z. B, wenn der primäre Funke sich festsetzt, statt der ausklingenden gedämpften Schwingung in gewissen Momenten nervenerregende Gleichstromimpulse. Der Zusammenhang von nervenerregender Wirkung und Dämpfung ist noch sehr mangelhaft studiert. Es wird zwar neuerdings mit dem Begriff der Dämpfung auch in der medizinischen Literatur häufig operiert, obwohl uns jede exakte biologische Grundlage in dieser Richtung fehlt.

Eine weitere allgemein biologische Eigenschaft der Hochfrequenz ist die Wärmewirkung, die überhaupt jeden elektrischen Strom begleitet. Sie tritt überall auf, wo die Ströme einen Leiter durchlaufen, und zwar nach dem Jouleschen Gesetz:

$$Q = J^2 \cdot W \cdot T \cdot 0{,}24 \text{ gr calor.}$$

wobei

Q = Wärmemenge in gr calor.
J = Stromstärke in Ampères
W = Widerstand in Ohm
T = Zeit in Sekunden.

Infolge ihrer geringen Intensität haben die d'Arsonvalströme nur sehr geringen Wärmeeffekt, was ihre therapeutische Bedeutung sehr beeinträchtigt. Wir sind heute in der glücklichen Lage, über eine zur Wärmeerzeugung wegen ihrer hohen Intensität viel geeignetere Stromart zu verfügen: die Diathermieströme.

Wenn wir uns der optimistischen therapeutischen Resultate erinnern, die namentlich französische Autoren bei arterieller Hypertension, Stoffwechselerkrankungen, harnsaurer Diathese usw. beobachtet haben wollten, so müssen wir uns fragen, ob nicht die Hochfrequenzströme eine ihnen eigentümliche spezifische elektrische Wirkung neben der Wärmewirkung besitzen. Wir bewegen uns hier auf völlig hypothetischem Gebiet. Elektrolytischer Natur könnten diese Wirkungen nicht sein. Von vielen Seiten wurde der Versuch gemacht, alle biologischen Wirkungen der Hochfrequenzströme auf die geringen Wärmewirkungen zurückzuführen und den unerklärten Rest mit der Suggestivwirkung der elektrischen Resonanz in Zusammenhang zu bringen. Wir wollen hier diese Streitfrage nicht betreten. Die intensive Form der Hochfrequenz, die Diathermie, wird vielleicht einmal, wenn sie erst klinisch therapeutisch ausgebaut ist, auch hierauf neues Licht zu werfen imstande sein. Die allgemeine d'Arsonvalisation hat ja überhaupt in neuerer Zeit an Bedeutung verloren und wir wenden uns nun zur heute wichtigsten Form der Therapie mit Hochspannungshochfrequenz, der lokalen d'Arsonvalisation.

Der Vollständigkeit halber gebe ich im folgenden eine Übersicht der klinischen Formen der Therapie mit hochgespannten hochfrequenten d'Arsonvalströmen:

A. Allgemeine Applikation (allgem. d'Arsonvalisation, empfohlen für arterielle Hypertension, Stoffwechselerkrankungen, harnsaure Diathese, nervöse Zustände, Schlaflosigkeit usw.).

a) Autokonduktion.

Patient befindet sich im sogenannten grossen Solenoid, ohne direkten Kontakt mit dem Resonanzkreis. Er befindet sich in einem Induktionsfeld. Der Körper wird kapazitiv aufgeladen.

b) Kondensatorbett (Apostoli).

Patient liegt auf einem Ruhebett, dessen Polster als Dialektrikum dient, Metallplatten unterhalb des Polsters sind leitend mit einem Pol des Resonators verbunden; der andere Resonatorpol führt zu einer metallischen Stabelektrode, die der Patient in den Händen hält. Es erfolgt allgemeine kapazitive

Aufladung und Durchströmung des Körpers mit Hochfrequenzschwingungen. Stromdichte gering, nur im Bereich der oberen Extremität infolge des dünnen Querschnitts grössere Stromdichten.

Bei der allgemeinen d'Arsonvalisation handelt es sich um die Wirkungen reiner, strömender Hochfrequenzelektrizität.

B. Lokale Applikation (lokale d'Arsonvalisation).

1. Direkter Kontakt mit befeuchteten Elektroden, wird für d'Arsonvalströme selten verwendet, ist hingegen für die moderne Hochfrequenztherapie: die Diathermie, die eigentliche Methode.

2. Die Hochfrequenzfunkentherapie.

a) Fulguration (de Keating-Hart) oberflächliche Gewerbszerstörungen, Anregung der Granulation, intensivste Form der Funkentherapie, wegen Schmerzhaftigkeit nur in Narkose möglich.

b) die Kondensationsfunkenmethode, milde Form der Fulguration, statt Spitzenelektrode eine sogenannte „Kondensatorelektrode" mit hoher Kapazität, meist verwendet als lokaler Hautreiz, Derivation, Analgesierung.

c) Das Hochfrequenzeffluvium, stille Entladungsform, Büschelentladung, Besenelektrode mit feinen Spitzen, ähnliche Wirkung wie Kondensatorelektrode, nur in milderer Form.

Die Hochfrequenzfunkenapplikation.

Wir haben es hier nicht mehr mit der Wirkung der Durchströmung der Gewebe mit Hochfrequenzelektrizität allein zu tun, sondern der kombinierten Wirkung der strömenden Hochfrequenzenergie und der Energie des elektrischen Funkens. Zum Verständnis müssen wir uns vorerst etwas über das physikalische und biologische Verhalten des elektrischen Funkens orientieren. Bei den folgenden Erörterungen ist immer der Hochfrequenzfunke als zugrundeliegend gedacht. Als elektrischen Funken bezeichen wir eine rasch vorübergehende, disruptive Form der Entladung von elektrischer Energie durch die ionisierte Luft (G. Mie)[1]). Seine Dauer beträgt Bruchteile einer $^1/_{1000000}$ Sekunde. Das Funkenphänomen verdankt sein Zustandekommen verschiedenen physikalischen Komponenten, deren Kenntnis zum Verständnis der biologischen Wirkung viel beitragen kann:

1. Die mechanische Wirkung des Hochfrequenzfunkens.

Sie ist zum Teil eine Folge der enormen thermischen Ausdehnung der Luft durch die plötzlich entstehende exzessiv hohe Temperatur. Illustriert wird sie durch folgendes bekannte Experiment: Befindet sich eine Funkenstrecke innerhalb eines mit Wasser gefüllten Becherglases, so wird dieses zertrümmert (G. Mie). Bekannt sind auch die enormen mechanischen Wirkungen, welche die intensivsten Funkenschläge (der Blitz) hervorrufen. Die mechanische Wirkung des Hochfrequenzfunken wächst mit der Höhe der Amplituden und mit seiner Spannung (mit der Länge des Funkens). Der mechanischen Wirkung der Hochfrequenzfunken ist wohl ein grosser Teil des biologischen Effektes zuzuschreiben: Kapilläre Blutungen, Vasomotorenbeeinflussung, Erythem, vakuoläre Degeneration der Tumorzellen bei der Fulguration, aber vor allem der Hautreiz, auch das Prickelgefühl. Zur Veranschaulichung der mechanischen Komponente können wir uns den Hochfrequenzfunken ersetzt denken durch feinste Nadeln, die mit ungeheuerer Geschwindigkeit auf die Haut auftreffen, aber nur während Bruchteile einer Millionstel Sekunde einwirken können.

2. Die thermischen Wirkungen.

Dass der elektrische Funke zündet, ist eine nur zu bekannte Tatsache. Bei schwachen Stromstärken ist die entstehende Wärmemenge infolge der äusserst kurzen Dauer trotz der augenblicklich enormen Temperaturerhöhung (die Metalldämpfe und die Gase im Bereich der Entladungen kommen zum Glühen) eine geringe, étincelles froides von Zimmern et Turchini. Erst bei höheren Stromstärken wird die rein thermische Wirkung des Funkens erheblich. Sie

[1]) G. Mie, Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus. 1910.

erreicht z. B. in dem kleinen kaum millimeterlangen Zischfunken eines Wienschen Diathermie-Apparates bereits eine sehr beträchtliche Höhe und ist das Prinzip für die elektrische Lichtbogenoperation (de Forest und Czerny).

3. Die chemischen Wirkungen (nach Freund).

Sie sind mannigfaltig, am prägnantesten ist die Ozonbildung, auch die Salpetersäurebildung. In der getroffenen Zelle finden auch eine Reihe chemischer Zersetzungen statt, die auf die direkte chemische Funkenwirkung zurückzuführen sind.

4. Die optischen und photochemischen Wirkungen.

Sie bilden diejenige Komponente, welche uns gewöhnlich als Funkenphänomen imponiert. Der elektrische Funke sendet ähnlich der als Lichtbogen bezeichneten Entladung optische Strahlen aus (Freund), deren Wellenlänge i. e. Farbe von der Natur der zum Glühen gebrachten Stoffpartikelchen (Elektrodenmetall, durchschlagenes Gas) abhängt. Biologisch bedeutsam ist die bei allen Formen der Funkenentladung, auch bei der sogenannten dunklen und Büschelentladung stattfindende Emission ultravioletter Strahlen (L. Freund)[1]).

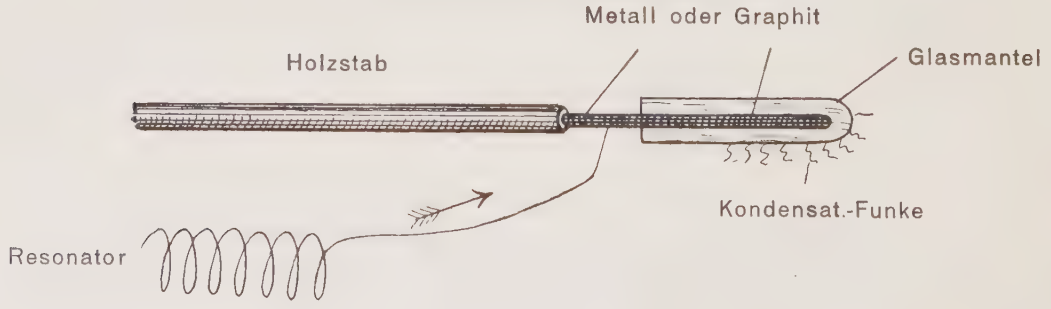
Hier wäre auch die Meldung aus der Marconischen Funkentelegraphenstation in Marokko zu erwähnen, dass dort die Angestellten an Konjunktivitis und Ekzemen erkrankten, die auf die Wirkung der von der unbedeckten Funkenstrecke der Marconiapparate ausgesandten ultravioletten Strahlen zurückgeführt wurden. Seither wird diese Funkenstrecke stets abgeblendet.

Die Hochfrequenzfunkenbehandlung hat drei klinische Formen: Fulguration, Kondensationsfunken und Effluvium, deren biologische Wirkung insofern einheitlich ist als bei allen dieselben physikalischen Komponenten zur Wirkung gelangen. Der Unterschied ist ein rein quantitativer. Einer eingehenden Darstellung bedarf vor allem die Wirkung der Kondensationsfunken. Es ist die von Müller für die Kombination mit Röntgentherapie vor allem empfohlene Methode. Bezüglich der Fulguration verweise ich auf die ausgezeichnete kritische Darstellung von Leopold Freund[1]).

Die lokale Applikation von Hochfrequenzströmen mittels Kondensatorelektrode. (Kondensationsfunken.)

Die von Oudin eingeführte Kondensatorelektrode hat den Zweck, die Funkenapplikation gleichmässig, milde und schmerzlos zu gestalten. Wir erreichen dies dadurch, dass wir die vom Resonator entnommene Hochfrequenz, statt sie wie bei der Fulguration von einer spitzen Metallelektrode auf den Körper überspringen zu lassen, vorerst einem Dielektrikum mit hoher Kapazität zuführen. Die hochgespannten Hochfrequenzströme durchdringen das Dielektrikum mit der grössten Leichtigkeit.

Fig. 4. **Oudinsche Kondensator-Elektrode.**

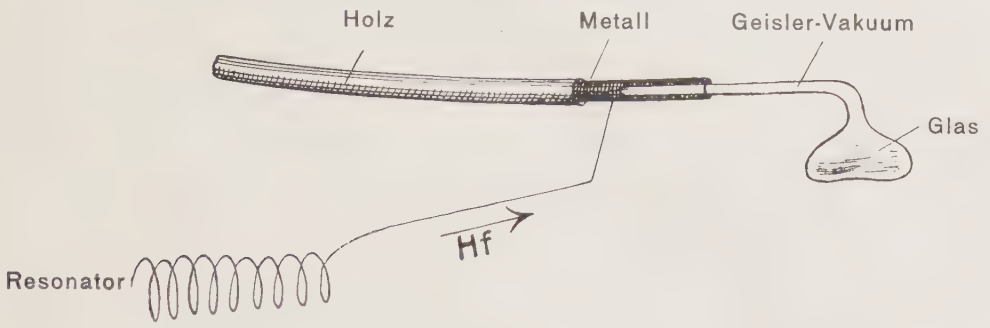


Oudin fand eine Elektrode von obenstehender Form. Mac Intyre ersetzte die Metallfüllung durch ein Geisler-Vakuum. Die Mac Intyresche Vakuumelektrode wird heut ja

[1]) L. Freund. Die elektrische Funkenbehandlung der Kurzinome Fulguration, Stuttgart, Enke, 1908.

meistens zur Kondensation benutzt. Sie ermöglicht die Funkenapplikation in gleichmässigster und mildester Form.

Fig. 5. **Mac Intyres Vakuum-Kondensator-Elektrode.**



Wir können die kapazitiven Eigenschaften der Kondensatorelektrode in ihrer Bedeutung für die Therapie uns veranschaulichen durch ein Gleichnis aus der Hydrodynamik. Wir denken uns den Hochfrequenzstrom ersetzt durch einen Strom fliessenden Wassers, der sich durch eine Brause (Kondensatorelektrode) auf die Haut ergiesst. Der feine Sprühregen einer Brause steht zu dem scharfen Wasserstrahl der gewöhnlichen Wasserleitung oder eines Hydranten in ähnlicher Beziehung, wie der feine elektrische Sprühregen einer Kondensatorelektrode zu den Funkenschlägen bei der eigentlichen Fulguration.

Die biologischen Wirkungen der Kondensationsfunken.

Behandeln wir die Haut an zirkumskripter Stelle mit mittelstarken, eben kaum noch schmerzhaften Kondensationsfunken, so tritt während 10 bis 40 Sekunden eine spasmische Anämie durch Vasokonstriktion der getroffenen Haptpartien ein. Dieser folgt nach kurzer Zeit, nach 30 Sekunden bis 1 Minute eine Erschlaffung der Hautgefässe, eine deutliche Hyperämie. Ich verweise auch auf die Mitteilungen von Karl Hiss[1]), L. Freund[2]), Zimmern und Turchini[3]).

In folgendem Versuch habe ich die Wirkungen der mittelstarken Kondensationsfunken auf der Haut des Menschen verfolgt. Unter mittelstarker Intensität verstehe ich diejenige Funkenstärke, welche vom Patienten gerade noch ohne erhebliche Schmerzen ertragen wird.

Versuch Nr. 1. Eine Hautstelle des Thorax wird ca. 15 Minuten mittelstarken Kondensationsentladungen ausgesetzt. Maximale Funkenlänge beim Entfernen der Elektrode von der Haut = 1,5 bis 2 cm. Letzteres ist ein ungefähres Mass für die Intensität der angewandten Kondensationshochfrequenz. Nach einer kurz dauernden, kaum sichtbaren Erblassung zeigt die getroffene Hautstelle eine deutliche Hyperämie, die noch 1—2 cm über das direkt getroffene Gebiet sich hinaus erstreckt. Im Zentrum zeigte sich am Schluss eine einzelne Quaddel. Am zweiten Tage ist die Hyperämie noch vorhanden, am dritten Tag: Hyperämie noch zentral vorhanden, Peripherie gelblich verfärbt, am vierten Tag: fast ganz abgeblasst, leichte Desquamation in kleinen Schüppchen. Am sechsten Tag ausser leicht bräunlicher Pigmentierung keine Residuen mehr.

Ähnliche Versuche stellte ich in hoher Zahl an. Ich variierte und modulierte die Hochfrequenz in den verschiedensten Richtungen, verwandte auch verschiedene Apparate. Im Prinzip blieb die Wirkung auf die Haut immer dieselbe. Nach kurzer Zeit, nach im Maximum einer Minute tritt bei mittelstarker Entladung stets ein Erythem auf. Wählt man die Funkendosierung schwächer, arbeitet man z. B. mit sehr kleiner primärer Funkenstrecke, so ist eine Beeinflussung der Hautvasomotoren überhaupt nicht mehr deutlich wahrzunehmen. Es erfolgt weder Anämisierung noch Hyperämisierung.

[1]) Karl Hiss, Zeitschrift für physikal. u. diätet. Therapie, Bd. 14, H. 3.
[2]) L. Freund l. c.
[3]) Zimmern et Turchini l. c.

Die Kondensationsfunken sind im wesentlichen ein Hautreiz. Darauf gründet sich auch ihre Anwendung als Derivationsmittel bei Neuralgien. Sie entfalten auch oft eine deutliche anästhesierende Wirkung. Ob dies einer direkten Einwirkung auf die sensiblen Nerven zuzuschreiben ist, oder eine indirekte Folge der ödematösen Durchtränkung der Haut darstellt, ist nicht entschieden. Mit den Kondensationsfunken lässt sich beim Abheben der Elektrode von der Haut bis auf etwa 1 oder $^1/_2$ cm Distanz mit Leichtigkeit Muskelzuckung hervorrufen, z. B. am Platysma oder im Gebiet der Daumenballenmuskulatur, ebenso gelingt die Reizung des N. ulnaris am Epicondylus medialis. Wir haben es hierbei nicht mehr mit der Wirkung von Hochfrequenz zu tun sondern mit der mechanischen Wirkung des Funkenschlags und einem starken kurzdauernden Gleichstromstoss. Die Funkenstrecke, die in den Resonanzkreis interponiert ist, wirkt gleichsam als Gleichrichter.

Stellen wir uns nun die Frage, ob die Kondensatorelektrodenhochfrequenz biologische Tiefenwirkungen besitzt? In der Hauptsache ist sie sicher nur Hautreiz. Unser Urteil wird sich am besten leiten lassen durch die Erfahrungen, die mit der intensivsten Form der Funkenapplikation, der Fulguration, bezüglich Tiefenwirkung gemacht worden sind. Freund[1]) unterwirft diese Frage einem gründlichen Studium und kommt zu dem Resultat: die Tiefenwirkung der Fulguration ist eine sehr geringe. Laut der histologischen Befunde erstreckt sie sich kaum bis zur Mitte des Koriums. In dieser geringen Tiefenwirkung sieht Freund mit Recht den eigentlichen springenden Punkt, warum die Fulguration versagt und immer mehr verlassen wird. Die Kondensationsfunken sind von bedeutend geringerer Intensität und sie werden deshalb noch viel weniger Tiefenwirkungen aufweisen wie die Fulguration. Über die Tiefenwirkung der bei der Kondensatormethode ebenfalls auftretenden strömenden Hochfrequenz ist uns wenig bekannt.

Die Dosierung und Modulierung der Kondensationshochfrequenz.

Die Kraft der Funken im therapeutischen Stromkreis lässt sich einigermassen abschätzen an ihrer Schlagweite. Wir nähern zu diesem Zwecke die Kondensatorelektrode der Haut bis zu dem Augenblick, wo eben die ersten Funken überspringen. An der Länge dieser Schlagweite erkennen wir in ungefährem Masse die Stärke der Funken. Wir können die Spannung der Hochfrequenz im therapeutischen Sekundärkreis und damit die Schlagweite der Funken vermehren, indem wir die Funkenstrecke des Schwingungskreises grösser wählen. Es steigen dann die maximalen Amplituden, gleichzeitig werden die Funkenstösse im Primärkreis seltener, die Anzahl der Schwingungsgruppen pro Sekunde nimmt ab, die Gesamtenergie des Sekundärkreises sinkt ebenfalls. Durch Annähern und Entfernen des sekundären Solenoids vom primären variieren wir das Kuppelungsverhältnis und damit die Höhe der sekundären Amplituden. Die Stromstärke des Resonanzskreises, die hauptsächlich für die Wärmewirkung der Funken massgebend ist, hängt ab vor allem von der Stromzufuhr aus dem Induktor. Je mehr Speisestrom der d'Arsonvalgenerator empfängt, um so höher auch die sekundäre Stromstärke im therapeutischen Stromkreis.

Die Frequenz, d. h. der reziproke Wert der Schwingungsdauer der einzelnen Oszillation ist durch irgendwelche Manipulation in der Apperatur nicht zu variieren.

Die Dämpfung der sekundären Schwingungsgruppen hängt vor allem ab von dem Widerstand, den der Hochfrequenzstrom im theurapeutischen Stromkreis zu überwinden hat, sie ist sehr gross bei Zwischenfunkenstrecke im II. Kreis (Funkenapplikation).

Bewirken die Hochfrequenzströme als Kondensationsfunken eine andauernde deutliche Anämisierung der Haut?

Wir haben die Reaktion der Hautvasomotoren im vorherigen Kapitel nach den Angaben der Literatur und nach eigenen Experimenten bereits erörtert. Die schmerzlose mittelstarke

[1]) L. Freund l. c.

Entladung bewirkt keine dauernde Anämisierung. Nach einer Minute stellte sich in allen Versuchen regelmässig eine Hyperämie ein. Steigern wir die Kraft der Kondensationsfunken durch vermehrte Stromzufuhr vom Induktor und Verlängerung der primären Funkenstrecke, so wird die hyperämisierende Wirkung der Kondensationsfunken immer deutlicher sichtbar. Bei genügender Intensität rufen sie eine richtige andauernde d'Arsonvalisations-Dermatitis hervor. Alle Versuche durch Modulation, geringere Dosierung, andere Apperatur, die von Müller gemeldete andauernde anämisierende Funkenwirkung zu sehen, blieben resultatlos. Am ehesten noch scheint hierzu das Effluvium geeignet, denn das Stadium der Vasokonstriktion bei der stillen Entladungsform kann nach Karl Hiss[2]) 5—8 Minuten dauern.

Eine anämisierende Wirkung, die etwa derjenigen des Adrenalins oder der Kompression zu vergleichen wäre, konnte ich bei Hochfrequenzkondensationsfunken nie beobachten. In den folgenden experimentellen Untersuchungen, welche über die Wirkung und die Zweckmässigkeit der Kombination von Kondensationsfunken mit gleichzeitiger Röntgenbestrahlung (Chr. Müller) entscheiden sollen, benützte ich zwei verschiedene Hochfrequenzapparate, einen kleinen Apparat von Ing. Karl Beez und einen grossen von der Sanitas-Gesellschaft. In diesen Versuchen wurde die Hochfrequenz nach bereits entwickelten Gesichtspunkten hin variiert und verschieden dosiert. Vor allem bestand eine sogenannte Schwachschaltung, die kein Erythem mehr auf der Haut zu erzeugen imstande war, und eine Starkschaltung, die schon nach einer Minute ein deutliches Erythem erzeugte. Deren Intensität ist dadurch charakterisiert, dass sie vom Patienten gerade noch ohne grössere Unannehmlichkeiten während längerer Zeit ertragen wird.

Die kombinierte Anwendung von Kondensations-Hochfrequenz und Röntgenstrahlen.

Den Angaben Müllers folgend, verabreichte ich eine kombinierte Sitzung in folgender Weise:

Die Röntgenröhre wird über dem Bestrahlungsfeld in der gewollten Fokushautdistanz eingestellt und zentriert und mit den üblichen Kautelen Abdeckung des Patienten usw. gearbeitet. Ohne die Strahlenemission in Gang zu setzen, wird die Haut des zu bestrahlenden Feldes vorerst mit Hochfrequenzentladungen vorbehandelt. Während etwa 5—8 Minuten bestreicht man die Haut gleichmässig mittels einer Glaselektrode, stets in dichtem Kontakt mit ihr bleibend (ich verwendete Vakuum, Müller Graphitfüllung oder Metallbeleg auf der Innenseite der Elektrode, aus der die hochfrequenten kleinen Kondensationsfünkchen auf die Haut aufprasseln). Der Röntgentherapeut hält die Glaselektrode mittels eines langen Holzstiels und kann sich so bequem hinter einer schützenden Bleiwand mit Bleiglasfenster aufstellen, um von da aus die Handhabung der Elektrode zu besorgen.

Nach etwa fünf Minuten Hochfrequenz-Vorbehandlung schaltet man die Röntgenröhre ein und fährt nun während der ganzen Dauer der X-Strahlenemission in der angegebenen Weise mit der Hochfrequenzapplikation fort. Nachdem die Strahlenemission die gewünschte Dose erreicht hat, wird die Röntgenröhre ausgeschaltet und die Haut noch etwa fünf Minuten mit Hochfrequenzentladungen allein nachbehandelt. Die Gesamtstrahlendose wurde entweder nach der Expeditivmethode Kienböcks in einmaliger Sitzung oder dann nach der sogenannten modifizierten Expeditivmethode an aufeinanderfolgenden Tagen verabreicht.

Folgt man dieser Methodik, gibt Müller an, so erleide die Haut hierbei durch die Hochfrequenzströme eine derartige Beeinflussung im Sinne einer Desensibilisierung, dass sie das 3—4fache der Erythemdose, und zwar einer weichen Strahlung ertrage, ohne jede Spur einer Röntgenschädigung aufzuweisen. Diese Möglichkeit wäre ja für die Weiterentwicklung der diakutanen Röntgentherapie von allergrösster Bedeutung gewesen, vor allem im Hinblick auf neue Aussichten in der Behandlung der malignen Geschwülste. Es erschien mir deshalb

[2]) Karl Hiss l. c.

als auch eine für die Praxis dankbare Aufgabe, diese bedeutungsvollen Angaben einer eingehenden, systematischen experimentellen Prüfung zu unterwerfen.

Zur röntgentherapeutischen Technik.

Exakte Untersuchungen in der Röntgentherapie sind nicht allzu leicht. Die Zahl der möglichen Fehlerquellen ist eine zu grosse. Besondere Sorgfalt widmete ich deshalb einer nach Möglichkeit genauen Dosierung. Gerade im Hinblick darauf bevorzugte ich auch die Expeditivmethode bei den Bestrahlungssitzungen oder verteilte bei grösseren Gesamtdosen diese auf wenige Tage. Es ist jedem in der Dosimetrie Erfahrenen bekannt, dass grössere Dosen, um 5 H herum, leicht und mit genügender Genauigkeit zu messen sind, während die meisten der vorliegenden Dosimeter beim Ablesen von kleinen Dosen (1 H) recht ungenau sind. Die mittlere Fehlerquelle wächst bei der Röntgendosimetrie proportional der Anzahl der Ablesungen, in je mehr Teildosen ich die Erythemdose von 5 H teile, um so grösser der Fehler. Bestrahlen wir z. B. nach der Primitivmethode täglich, wobei unter Einhaltung der Erythemdose von 5 H für die Zeit von drei Wochen je $^{5}/_{18}$ H pro täglicher Sitzung und Ablesung zu messen sind, so wird die mittlere Fehlerquelle für die Bestimmung dieser Gesamtdose 18 mal grösser als bei expeditiver Verabreichung und einmaliger Messung. Die mittlere Fehlerquelle für die Ablesung ist bei jedem Dosimeter eine Konstante, die unabhängig ist von der Grösse der abgelesenen Dose, aber proportional der Zahl der Ablesungen.

Diese Überlegungen scheinen mir gewichtig genug, um der Expeditivmethode in der ursprünglichen oder der modifizierten Form sowohl für das Experiment wie für die zuverlässige Röntgentherapie in der Praxis zum endgültigen Siege zu verhelfen. Ich benutzte bei allen Versuchen zur Dosierung der Röntgenstrahlen das neue Holzknechtsche Radiometer, das Holzknecht selber als Skala zum Sabouraud bezeichnet. Die Genauigkeit dieses Instrumentes scheint mir für die Werte von 3—8 H völlig genügend, allerdings sah ich mich genötigt bei jeder Sitzung wieder ein neues Messstück zu verwenden, indem die Exaktheit der Ablesung bei wiederholter Benutzung infolge der etwas veränderten schmutzig-bräunlichen Farbennuance der Residualfarbe erheblich leidet.

Auch die übrigen unentbehrlichen Konstanten eines einigermassen zuverlässigen röntgentherapeutischen Eingriffes wurden bei jedem Versuch genau beobachtet und protokolliert nach folgendem Schema:

Bestrahlungsprotokoll:

Datum	Dose in Holzknecht-Einheiten (H)	Milliamp.	Härtegrad Wehnelt	Funkenstrecke der Röhre	Dauer der Sitzung	Fokushautdistanz	Bestrahlungsregion u. Nr. des Feldes	Hochfrequenz	
								Stärke	Dauer vor, während, nach der X-Sitzung

Zur Erleichterung einer genauen Einstellung und exakter Dosimetrie konstruierte ich nach langen Vorversuchen ein Instrument, das die Zentriervorrichtung, Distanzmesser und Dosimeterhalter in sich vereinigt. [Hilfsvorrichtung für exakte Dosimetrie der Röntgenstrahlen nach[1]) Verfasser:] Dasselbe lässt sich an jedem Röhrenkasten anbringen und ermöglicht in bequemer Weise und rasch folgenden Anforderungen gerecht zu werden:

1. Genaue Einstellung der Antikathode (auf 1—2 mm) in beliebig gewähltem Abstand von der Haut.

[1]) Angefertigt durch die Elektrizitätsgesellschaft Sanitas.

2. Genaue Zentrierung des Normalstrahls durch die Antikathode im Bestrahlungsfeld.

3. Befestigung des Messstückes, genau in halber Fokushautdistanz oder auch (nach Meyer) in jedem anderen Antikathodenabstand.

Die Details des Instrumentes sollen an anderer Stelle noch eingehender veröffentlicht werden.

Der Härtegrad jeder Röhre wurde vor jeder Sitzung bestimmt durch direkte Messung der Penetranz mittels des Wehneltschen Kryptoradiometers, hierbei jeweils auch die Parallelfunkenstrecke und die Belastung notiert.

Die Konstanz des Härtegrades während des Ganges der therapeutischen Strahlenemission wurde mittels der Paralellfunkenstrecke verfolgt.

Fig. 6. **Parallelfunkenstrecke als Härtemesser**
bisher beliebte Form (Kathode plattenförmig) für gleichmässige Ablesung ungünstiger.

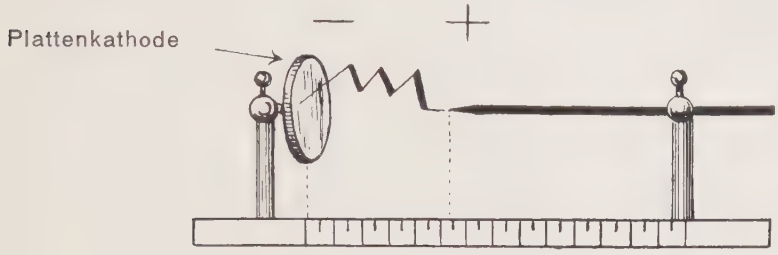
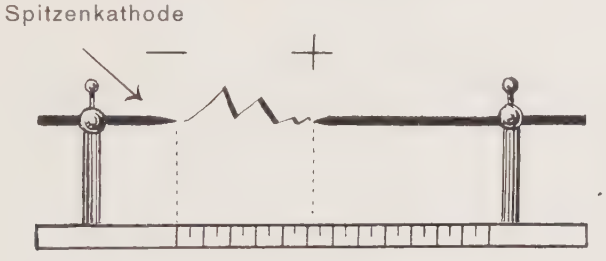


Fig. 7. **Parallelfunkenstrecke**
Kathode und Anode Spitzenform, für die Erzielung genauer Werte bei der Ablesung günstiger.



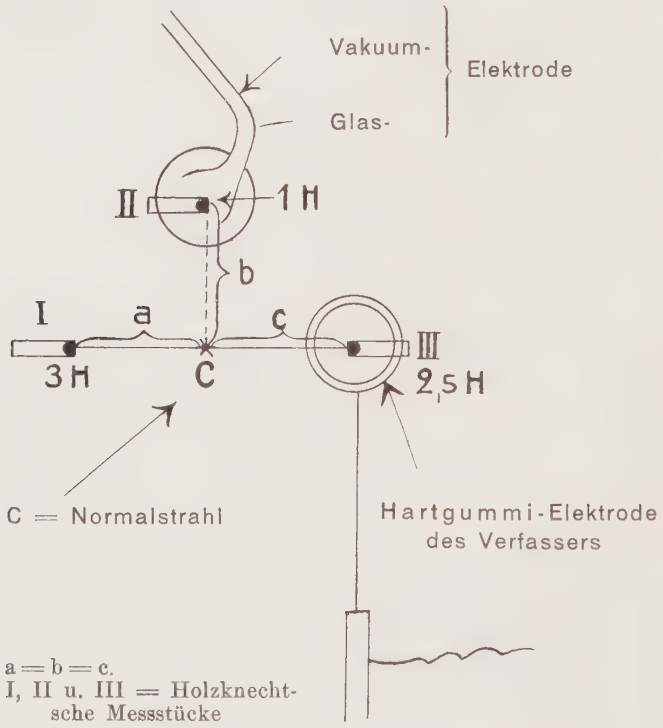
An den meisten Röntgenapparaten besteht die Parallel-Funkenstrecke aus einer Spitze (+) und einer Platte (—); eine Anordnung, die für die genaue Ablesung der Länge der Parallel-Funkenstrecke ungünstig ist. Die Verhältnisse des Funkenaustausches werden hierbei kompliziertere und die praktisch unangenehme Folge ist, dass bei verschiedenen Ablesungen erheblich differente Werte entstehen, vor allem auch verschiedene Werte beim Annähern und Entfernen der Elektroden. Ich liess deshalb die Platte entfernen und benutzte stets eine Parallel-Funkenstrecke, bei der Kathode wie Anode aus Spitzen bestehen. Zur Orientierung über die Pole und als Wegweiser für die Stromrichtung bleibt ja immer noch die Platte der Vorschalt-Funkenstrecke. Diese Form der Parallel-Funkenstrecke arbeitet mit der Genauigkeit einer Zeigerablesung und lässt mich den Gebrauch eines Bauerschen Qualimeters völlig entbehren, das ja auch nur die Spannung des Stromes und nicht die Penetranz der Strahlung direkt misst. An Röhrentypen wurden verwendet anfangs Müllerröhren (10 cm Rad.), Radiologie (10 cm), Burgerröhren von 11 cm Radius. Später fast ausschliesslich die kleine Osmoregul. Therapieröhre von Burger (6 cm Rad.), die im Hinblick auf ihre Billigkeit (25 Mark) Erstaunliches leistet. Es gelingt mir jetzt oft mit Leichtigkeit, eine solche Röhre ununterbrochen 30—40 Min. lang in Betrieb zu halten bei völliger Konstanz des Härtegrades (unter Benutzung der Vorschalt-Funkenstrecke zur Abdrosselung des Schliessungsstromes), allerdings nur bei entsprechend angepasster Belastung und Stromregulierung (0,4—0,6 Milliamp.).

In den nachfolgenden Versuchen wurde die Müllersche Methode der Kombination von Hochfrequenz und Röntgenstrahlen angewandt und hierbei die eben entwickelten Prinzipien röntgentherapeutischer Technik befolgt. Zur Entscheidung liegt folgende Frage: Desensibilisieren die Hochfrequenzentladungen der Kondensatorelektrode in irgendeiner Form die Haut für die gleichzeitige Einwirkung der Röntgenstrahlen?

1. Einfluss der Strahlenabsorption durch die Glaselektrode.

Im Bestrahlungsfeld bewegt sich während der ganzen Dauer der Strahlenemission über der Haut eine Elektrode aus ziemlich starkem Glas, deren Absorptionskraft für Röntgenstrahlen von Müller bei seinen Angaben über die Schätzung der zur therapeutischen Verwendung gelangenden Strahlendosen gar keine Berücksichtigung erfährt. Müller benutzte Glaselektroden mit Graphitfüllung oder Metallbelag, was ja die Absorptionskraft der Elektrode noch bedeutend erhöht. Ich bestimmte in folgendem die Absorptionskraft der von mir zuerst benutzten mittelgrossen Hochfrequenzelektrode mit Vakuum.

Fig. 8. (Versuch 2a.)



Versuch 2a. Unbewegte Elektrode.

Drei Holzknechtsche Messstücke werden in einer Distanz von 20 cm von der Antikathode auf einen Tisch gelegt, mit gleichen Abständen a, b, c, von dem Fusspunkt (c) des Zentralstrahls. Hierauf mit zwei verschiedenen Röhren von ca. 6 und 7,5 Wehnelt im ganzen während 35 Minuten bestrahlt.

Messstück I. Unbedeckt: Dosis 3 H.

Messstück II mit Kopf der Glaselektrode bedeckt: 1 H.

Messstück III mit Kopf einer Hartgummielektrode bedeckt: 2,5 H.

Resultat: Die ruhende Glaselektrode absorbiert $^2/_3$ der auffallenden Strahlendose, bei mittelweicher Strahlung.

Versuch 2b.

Absorption durch die in Bewegung sich befindende Hochfrequenzelektrode:

Natürlich hängt sie ab vom Verhältnis zwischen Elektrodenfläche und der Grösse des Feldes, in dem sich die Elektrode gleichmässig bewegt.

Anordnung ähnlich Versuch IIa.

Während der Strahlenemission wird über dem Halbfeld A, dessen Quadratinhalt ca. das Dreifache der Elektrodenfläche beträgt, dieselbe Glaselektrode gleichmässig bewegt. Die Messstücke befinden sich unter einer Lage dünnen Papiers, damit deren Fortbewegung verhindert wird.

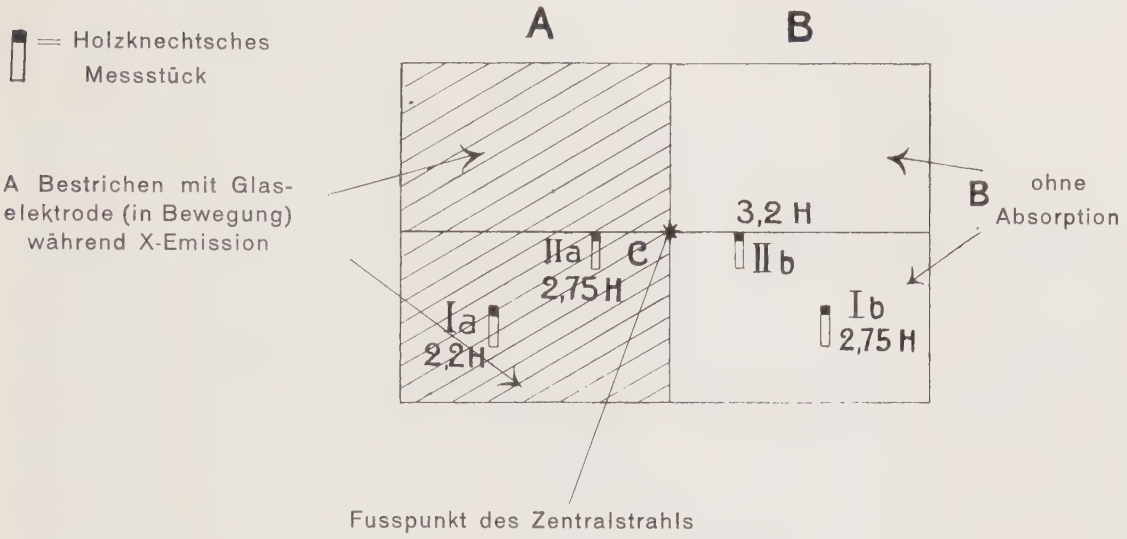
Strahlenemission: 30 Minuten.

Röhrenhärte: 5 Wehnelt.

Messstücke des Feldes A
Absorption durch bewegte Elektrode
Messstück Ia = 2,2 H
„ IIa = 2,75 H

Messstücke des Feldes B
ohne Absorption
Messstück Ib = 2,75 H
„ IIb = 3,2 H

Fig. 9. (Versuch 2b.)

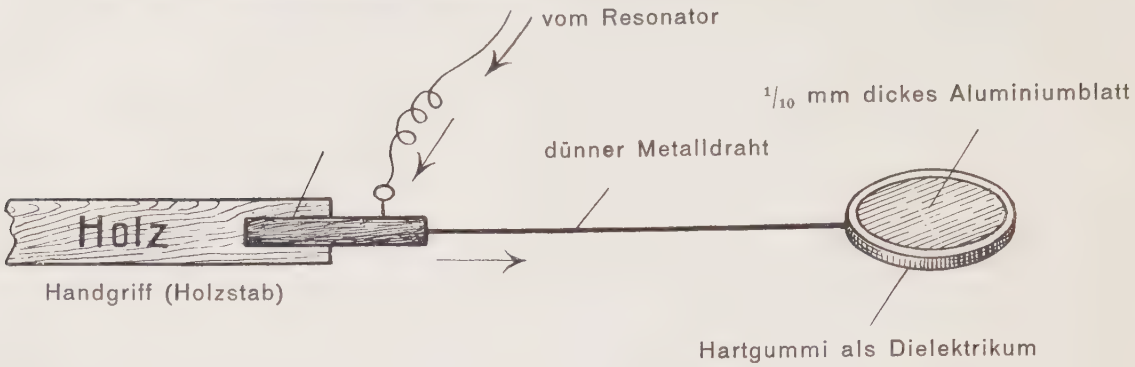


Resultat: Wird dieselbe Glaselektrode wie in Versuch I über einer Bestrahlungsfläche, deren Flächeninhalt das Dreifache der Fläche der Elektrode beträgt, bewegt, so absorbiert sie $^1/_5$—$^1/_6$ der auffallenden Strahlendose (5 Wehnelt). Dasselbe Resultat hätte sich durch Berechnung aus Versuch IIa ergeben. Indem wir nämlich den Absorptionskoeffizienten $^2/_3$ der ruhenden Elektrode durch den Quotienten aus $\frac{\text{Gesamte Bestrahlungsfläche}}{\text{Elektrodenfläche}} = 3$ dividieren, erhalten wir dann $^2/_3 : 3 = {}^1/_5$ rund als Absorptionskoeffizient der bewegten Elektrodenfläche. Die Übereinstimmung illustriert nebenbei die Zuverlässigkeit der Holzknechtschen Dosimetrie.

Aus diesen Versuchen ersehen wir, dass ein ganz beträchtlicher Teil der das Dosimetermessstück treffenden Strahlen infolge Absorption durch die von Müller gebrauchten Hochfrequenzelektroden gar nicht mehr die Haut trifft und von der therapeutischen Wirkung ausgeschaltet wird. Wir würden also am Dosimeter eine grössere Dose ablesen als die Haut in Wirklichkeit empfängt. Diese Fehlerquelle wird besonders gross bei kleinen Bestrahlungsobjekten. Sie ist einer direkten Bestimmung schwer zugänglich und ich suchte deshalb in den späteren Versuchen sie völlig zu eliminieren. Ich erreichte dies durch Konstruktion einer besonderen Art der Hochfrequenzelektrode von nachstehender Form: (Siehe Fig. 10.)

Diese von mir in allen späteren Versuchen benutzte Elektrode absorbiert nur relativ geringe Mengen von Röntgenstrahlung (siehe Versuch IIa rechts), die gegenüber den unvermeidlichen Fehlern der Dosimetrie kaum der Berücksichtigung bedürfen. Die Hochfrequenzströme gehen durch einen fadendünnen Metalldraht zur eigentlichen Elektrode, verbreiten sich dort auf dem $^1/_{10}$ mm dicken Aluminiumblech und treten hiervon in derselben gleichmässigen Dichte wie bei Glaselektroden durch das Dielektrikum aus Hartgummi als Kondensationsfünkchen auf die Haut. Von einer Veränderung der Hochfrequenz durch diese Elektrodenform gegenüber den bisher üblichen Elektroden kann natürlich nicht die Rede sein. Zudem wurde die Hochfrequenz in allen Versuchen vor und nach der Röntgenstrahlenemission wie sonst mittels Glaselektrode appliziert. Ich vermied durch Verwendung dieser Elektrode einen erheblichen Beobachtungsfehler Müllers und vermied es, die Strahlungsabsorption der Glaselektrode als Desensibilisierung der Haut zu deuten.

Fig. 10. **Röntgenstrahlendurchlässige Hochfrequenzelektrode des Verfassers.**



Nach Ausschaltung der genannten Fehlerquelle treten wir nun an die eigentliche Untersuchung der im Mittelpunkt stehenden Frage:

Desensibilisieren die Hochfrequenzströme die Haut für Röntgenstrahlen? d. h. erträgt die so vorbehandelte Haut ohne X-Reaktion das Mehrfache (nach Müller 3—4fache) einer Erythemdose?

Die Einführung des Begriffes der Erythemdose in Kombination mit der direkten Dosimetrie bedeutet für die Röntgentherapie den wesentlichsten ihrer Fortschritte. Leider ist dieser Begriff noch nicht überall in der Praxis mit der genügenden Klarheit durchgedrungen.

Als Erythemdose, E.-D. (Volldose, Normaldose Kienböcks) bezeichnen wir diejenige X-Strahlenmenge, die im Gesicht des Erwachsenen nach einer Latenzzeit von 14—18 Tagen eine ganz leichte Hautreaktion (Erythem) erzeugt (Holzknecht), bei Strahlen von 5—8 Wehnelt. Dieser Strahlenmenge entsprechen: Holzknecht-Skala = 5 H, Kienböck = 10 X, Sabouraud-Noiré-Dosimeter = Teinte B. Da wir als erstes Ziel die Vermeidung jeglicher Hautreaktion verfolgen, so bedeutet diese Strahlenmenge die Maximaldose für eine diakutane Bestrahlungssitzung; doch nicht nur das, die Erythemdose ist zugleich Maximaldose für die Summe aller Röntgenstrahlensitzungen, die im Zeitraume von drei Wochen eine bestimmte Hautregion überhaupt treffen dürfen; dabei ist es gleichgültig, ob wir die Dose von 5 H expeditiv (einer einmaligen Sitzung) oder in Teildosen (modifiz. Expeditivmethode und Primitivmethode) verabreichen. Die Gültigkeit der Erythemdose für einen Zeitraum von drei Wochen entspricht der mittleren Dauer der Latenzzeit der Hautreaktion 1. Grades. Für den Röntgentherapeuten ist die Erythemdose ein unerbittlich stabiler Begriff, zugleich natürlich auch der grösste Hemmschuh seines therapeutischen Handelns.

Versuche über die Frage der Hautreaktion bei Kombination von Hochfrequenz mit Röntgenstrahlen.
(Densensibilisierung oder Sensibilisierung?)

Der Fusspunkt des Normalstrahles durch die Antikathode wurde stets mit Lapis auf der Haut markiert. Er ist in den Abbildungen bezeichnet mit C. Ebenso wurden die Grenzen der Felder auf der Haut mit Lapis jeweils fixiert für die genaue Beobachtung der Lokalisation der Hautreaktion.

Versuch Nr. 3.

Pat. P., 22j. Soldat.

Malignes Lymphosarkom des Halses und Mediastinums. Rechte seitliche und vordere Halsregion mächtig angeschwollen; die Schwellung besteht aus harten Tumormassen und erstreckt sich vom unteren Rand des rechten Ohrläppchens bis zum Jugulum. Das Röntgenbild zeigt einen breiten Schatten im vorderen Mediastinum. Die Axillardrüsen rechts und links als grosse harte Pakete zu fühlen. Aus dem Bestrahlungsplan dieses Patienten greife ich folgende 3 nach der kombinierten Methode behandelten Felder heraus:

Versuch Nr. 3.

Bestrahlungsprotokoll:

Dat.	Röntgen							Kondensat.-Hochfrequenz				
	Dose in H.	Milli-ampère	Härte-grad Wehnelt-Skala	Funken-strecke	Dauer	Fokus Haut-distanz	Region	Elek-trode	Inten-sität	vor	während	nach
										Minuten		
Jan. 5.	5 H	3	4,5—5	5 cm	15	20	Feld I	Glas	schwach	10	15	10
„ 11.	6 H	2,5	5,5		20	20	„	„	„	10	20	10
„ 15.	5 H	2,5	5	4,5 „	20	20	„	„	„	10	25	10
5.—15. 1.	16 H											
Jan. 7.	5 H	3,0	5	5 „	15	20	Feld II	„	„	8	15	8
„ 17.	6,5 H	3,0	4,5—5	5 „	25	20	„	„	„	8	25	8
Jan. 9.	11,5 H 7 H	2,5	6	7 „	30	20	Feld III	„	„	8	30	5

Feld I. Rechte seitliche Halsregion, ca. 10 cm Durchmesser, am unteren Rand des rechten Ohrläppchen nach abwärts sich ausdehnend.

Feld II: schliesst sich nach unten und vorn an Feld I an. Durchmesser ca. 10 cm.

Feld III: Fusspunkt des Zentralstrahls über der Mitte des Sternum. Durchmesser etwa 15 cm. Die Abdeckung scheint zwischen Feld I nicht ganz genügend gewesen zu sein, so dass im Grenzgebiet der beiden Felder das Maximum der Strahlenwirkung zu sehen ist.

Hochfrequenzapplikation: In beschriebener Weise aus der Kondensationselektrode in schwacher bis mittelstarker Form appliziert. Elektrode aus Glas.

Verlauf der Hautreaktion auf Feld I, II u. III.

18. Januar. Feld I, II u. III leichtes Erythem. Auf Feld I mit Jucken verbunden.

Es wird nun der Versuch gemacht, die bereits sich einstellende Hautreaktion durch Nachbehandlung mit Hochfrequenzströmen (H.-F.) zu mildern.

H.-F. Applikation 10 Minuten, mild, alle drei Felder.

21. Januar. H.-F. Applikation 10 Minuten, mild, alle drei Felder.

24. Januar. Feld I: Rötung, Jucken, Desquamation.

Grenzgebiet zwischen I und II, hauptsächlich den obersten Teil von Feld II betreffend: Dunkelrotes Erythem, starke Schmerzhaftigkeit beim Darüberstreichen mit dem Finger (Streichschmerz). Hochfrequenzapplikation 10 Minuten.

Bei der Hochfrequenzapplikation wird auf den Hautstellen mit Röntgenerythem nur ganz vorübergehend eine leichte Ablassung sichtbar, hingegen zeigt die H.-F. eine anästhesierende Wirkung mässigen Grades.

26. Januar. Feld I stärker gerötet, brennendes Jucken auf Feld I und II. Feld III noch deutliches Erythem. Hochfrequenz allein, 10 Minuten mild.

27. Januar. Feld I: Deutliches Erythem.

Feld II: Obere Hälfte intensiv gerötet, starke Streichschmerzhaftigkeit, Jucken und Brennen. Hochfrequenz 10 Minuten.

30. Januar. Feld I: Deutliches Erythem.

Feld II obere Hälfte (Grenzgebiet): Blasenbildung (Hautreaktion II. Grades), starke Rötung und Schmerzhaftigkeit. Hochfrequenzapplikation: 10 Minuten mild.

31. Januar. Blasenbildung progrediert, Schmerzhaftigkeit etwas vermindert. Hochfrequenzbehandlung 10 Minuten.

1. Februar. Hochfrequenz.

3. Februar. Blaseneruption noch progredient. Hochfrequenz.

6. Februar. Feld I: Erythem nimmt an Stärke wieder zu. (Latenzzeit der 2. u. 3. Erythemdose?)

Feld II: Blasenbildung nicht mehr progredient.

Reaktion II. Grades in der Deszendenz, Schmerzhaftigkeit bedeutend geringer.

Feld III: noch etwas Jucken und leichtes Erythem. Hochfrequenzbehandlung der Haut.

Hochfrequenzbehandlung der geschädigten Haut von jetzt an jeden zweiten Tag.

7. Februar. Feld I: Rötung intensiv, düsterrot, Desquamation der Epidermis. Kein Jucken, Schmerzhaftigkeit geringer.

Feld II: Reaktion II. Grades stark im Rückgang, Abstossung der Borken, Rötung geringer. Hochfrequenzbehandlung.

12. Februar. Feld I: Rötung im Abnehmen besonders zentral. Peripher, zentrifugal vom Fokus neue gerötete Stellen mit leichtem Streichschmerz. Desquamation.

Feld II: blasser, Desquamation, kein Jucken, keine Schmerzhaftigkeit mehr.

Peripherste Stellen frisches Erythem leichten Grades, mit Hautjucken verbunden.

16. Februar. Feld I: Hintere Hälfte Rötung verschwunden. Vordere Hälfte noch leicht braunrot. Vollständige Epilation der Barthaare im Bereich des Bestrahlungsfeldes.

Feld II: Oberer Teil noch einzeln Schuppen. Übriger Teil: Erythem verschwunden.

Feld III: ganz abgeheilt.

18. Februar. Feld I: Noch Desquamation, stellenweise leichte Rötung.

Feld II: Noch Desquamation im oberen Teil.

22. Februar. Röntgenreaktion in allen Feldern vollständig abgeheilt. Annähernd normale Verhältnisse der Haut.

Resultat von Versuch Nr. 3.

Hautfelder, die innerhalb drei Wochen mit Gesamtdosen von 16 H (Feld I), 11,5 H (Feld II) und 7 H (Feld III) mit mittelweicher Strahlung bestrahlt wurden unter gleichzeitiger Behandlung mit schwachen, milden Hochfrequenzentladungen aus einer Kondensatorelektrode erfahren Röntgenschädigungen, stellenweise II. Grades, deren Verlauf in bezug auf Latenzzeit, Akme, Gesamtdauer kaum eine Milderung der Intensität im Vergleich zu dem bis jetzt bekannten Verhalten annehmen lässt. Die Behandlung der Röntgenerytheme mit Hochfrequenz scheint auf deren zeitlichen Verlauf sowie den Grad ebenfalls kaum von erheblichem Einfluss zu sein. Von einem desensibilisierenden Einfluss der Hochfrequenz auf die Haut lässt sich laut dieser Resultate nicht das geringte bemerken, höchstens ist vielleicht die relativ geringe Schmerzhaftigkeit, die in unserem Versuche zu beobachten war, der Hochfrequenzfunkenwirkung zu verdanken. Zu berücksichtigen ist in diesen Versuchen noch die Absorption durch die Glaselektrode, die auf etwa $^1/_5$ zu schätzen ist.

Zur Tiefenwirkung der kombinierten Behandlung: bei dem Patienten P. [Versuch Nr. 3.]

Sämtliche Tumormassen, auch einzelne Lymphknoten wurden mit der kombinierten Methode behandelt, mit sehr grossen Röntgenlichtdosen und weicher Strahlung. Schon etwa zehn Tage nach Einsetzen der kombinierten Röntgentherapie zeigte sich eine bedeutende Besserung des subjektiven Befindens, Abnahme des Hustenreizes, der Atemnot, das erhebliche Hauptödem der rechten vorderen Thoraxfläche verschwand vollständig. Nach etwa vierzehn Tagen war auch ein Weicher- und Flacherwerden der Geschwulstmassen zu beobachten, doch nur in sehr mässigem Grade und nur relativ kurze Zeit, und trotz der dreifachen E.-D. weicher Strahlung und kombinierter Hochfrequenzbehandlung zeigte der Tumor noch während des Bestehens der Röntgenreaktion der Haut wieder deutliche Volumenvermehrung und Progredienz im Wachstum. Ebenso war an den Axillardrüsen und Submentaldrüsen linkerseits infolge der kombinierten Methode ein Kleinerwerden und Abnahme der Schmerzhaftigkeit zu verfolgen, zum völligen Verschwinden kam es jedoch nie. Etwas Neues, Besonderes, oder Erstaunliches konnte die kombinierte Methode bezüglich Tiefenwirkung im vorliegenden Falle also nicht aufweisen.

Versuch Nr. 4.

Patientin S. Ausgedehntes Rezidiv nach Mammakarzinom, Radikaloperation vor $1^1/_2$ Jahren. Bestrahlungsfeld: Linke seitliche Halsregion unterhalb des Ohrläppchens. Durchmesser ca. 8 cm.

Bestrahlungsprotokoll:

Datum	Röntgen						Kondens.-Hochfrequenz				
	Dose	Milliampère	Härtegrad Wehnelt-Skala	Funkenstrecke	Fokushautdistanz	Dauer	Elektrode	Intensität	vor	während	nach
29. März	8,5 H	0,4 bis 0,6	6,5	4—6 cm	16 cm	20 Min.	Hartgummi	mittelst. bis stark	5	20	5 Min.

Am Schluss der Sitzung starke Hyperämie der Haut, 1 cm über die Abdeckungsgrenze sich ausdehnend.

Verlauf der Hautreaktion:

April 1. (4. Tag) Starkes Erythem, ziemlich schmerzhaft, scharfkantig mit der Abdeckungsgrenze abschliessend, Desquamation der Epidermis.

April 5. (9. Tag) Dunkelrotes Erythem, scharfkantig begrenzt an der Peripherie, Hautjucken.

April 8. (12. Tag) Starkes Hautjucken, Erythem düsterrot, sehr stark schmerzhaft, leichte Desquamation.

April 15. (17. Tag) Erythem von hellroter Farbe, Desquamation stark.

April 18. (22. Tag) Rötung abgeblasst, Schmerzhaftigkeit geringer.

April 25. (29. Tag) Rötung fast ganz abgeblasst, kein Jucken, keine Schmerzhaftigkeit.

Resultat aus Versuch Nr. 4:

Ein Hautfeld der Halsregion wird mit 8,5 H mittelweicher Strahlung unter gleichzeitiger Hochfrequenzbehandlung von mittelstarker Intensität in einmaliger Sitzung bestrahlt. Nach einer kurzen Latenzzeit von vier Tagen steigt die Hautreaktion ziemlich rasch aszendierend an, erreicht das Maximum einer Hautreaktion ersten Grades, Gesamtdauer der Reaktion: zwanzig Tage.

Versuch Nr. 5.

Patientin Sch., 48jährige Frau mit Rezidiv nach Mammaexstirpation wegen Karzinom. Mächtige, harte Drüsenpakete in beiden Supraklavikulargruben, besonders links vorn und seitlich. Expeditive Röntgenbestrahlung mit gleichzeitiger Kondensationshochfrequenz einer Hautregion links seitlich und vorn in der Halsgegend.

Bestrahlungsprotokoll:

Datum	Dose	Milli-ampère	Härtegrad Wehnelt-Skala	Funken-strecke	Dauer	Fokushaut-distanz	Kondens.-Hochfrequenz				
							Elektrode	Intensität	vor	während	nach
8. April	7,5 H	0,6	7	9	14 Min.	16 cm	Hartg. u. Glas	mittelst. bis stark	5 Min.	14	3 Min.

Am Schluss der Sitzung mässiggradige Hyperämie des Bestrahlungsfeldes.

Verlauf der Hautreaktion:

April 11. (3. Tag) Leichte Rötung, starke Schuppung, keine Schmerzhaftigkeit.

April 12. (4. Tag) Deutliches scharfkantig begrenztes Erythem, geringer Streichschmerz.

April 18. (10. Tag) Intensive dunkle Rötung der Haut, mässige Desquamation, starkes Hautjucken.

April 21. (13. Tag) Im Zentrum des Bestrahlungsfeldes Hautreaktion zweiten Grades. Blasenbildung, starke Sekretion, erhebliche Schmerzhaftigkeit, Peripherie Reaktion ersten Grades. Weitere Beobachtung der Patientin ist nicht möglich.

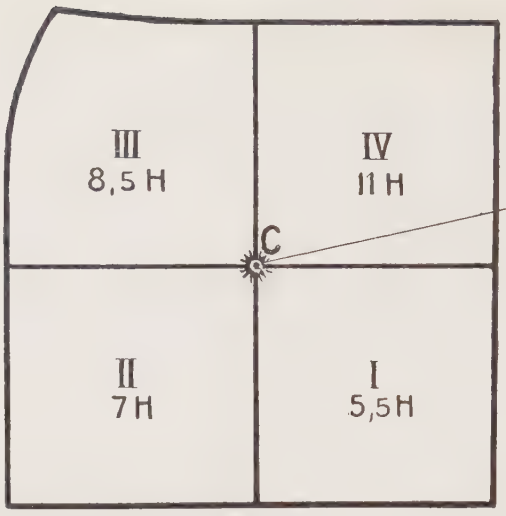
Resultat aus Versuch Nr. 5.

Nach einer Röntgendosis von 7,5 H mittelharter Strahlung (7 Wh) stellt sich trotz gleichzeitiger Behandlung mit mittelstarken bis starken Hochfrequenzentladungen am 13. Tag eine Hautreaktion 2. Grades ein. Die Latenzzeit der Hautreaktion überhaupt betrug nur 4 Tage, die Gesamtdauer der Reaktion konnte nicht beobachtet werden.

Versuch Nr. 6.

Patientin L. A., 62jährige Frau, Rezidiv nach Radikaloperation eines Mammakarzinoms. Expeditive Röntgenbestrahlung eines Hautfeldes der vorderen rechten Thoraxregion. Das Hautfeld wird in vier Dosenteilfelder I, II, III, IV eingeteilt und dieselben mit wachsenden Dosen bestrahlt. Gleichzeitige kombinierte Anwendung von Hochfrequenzentladungen mittelstarker Intensität in bekannter Weise.

Fig. 11.



Bestrahlungsfeld mit vier Dosenteilfeldern (I, II, III, IV) Versuch 6.

Bestrahlungsprotokoll:

Röntgen								Kondens.-Hochfrequenz				
Teilfeld	Datum	Dose	Milliampère	Härtegrad Wehnelt-Skala	Funkenstrecke	Dauer	Fokushautdistanz	Elektrode	Intensität	vor	während	nach
I	22. 3.	5,5 H	0,5	5	5 cm	15 Min.	16 cm	Hartg.	mittelst.	5	15	5 Min.
II	„	7 H	0,5	5	5 cm	20 Min.	16 cm	Hartg.	mittelst.	5	20	5 Min.
III	„	8,5 H	0,5	5	5 cm	25 Min.	16 cm	Hartg.	mittelst.	5	25	5 Min.
IV	„	11 H	0,5	5	5 cm	30 Min.	16 cm	Hartg.	mittelst.	5	30	5 Min.

Verlauf der Hautreaktion.

März 25. (3. Tag) Leichtes Erythem.

März 28. (6. Tag) Starkes Erythem.

April 1. (10. Tag) Dunkelrotes Erythem, starker Streichschmerz.

April 6. (16. Tag) Bis jetzt hatten alle Felder dieselbe Intensität der Reaktion. Heute zeigt Feld I eine geringere Rötung als die übrigen. Desquamation besonders auf Feld III und IV, ebenso Schmerzhaftigkeit beim Streichen.

April 11. (21. Tag) Erythem im Erblassen, erhebliche Desquamation der Epidermis, besonders auf Feld III und IV.

April 18. (28. Tag) Annähernd normale Verhältnisse.

Resultat aus Versuch Nr. 6.

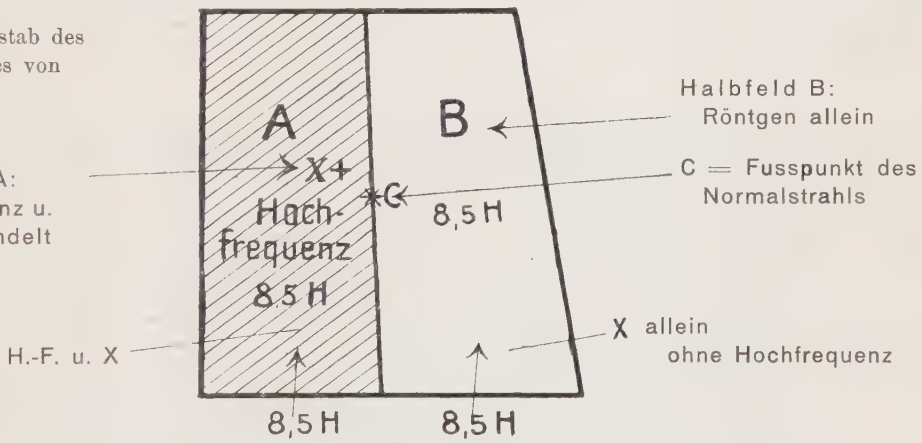
Alle vier Dosenteilfelder zeigen Hautreaktion ersten Grades. Auffallend ist, dass trotz der grossen Unterschiede in der Röntgendoosis die Hautreaktion der einzelnen Teilfelder geringe Differenzen aufweist.

Zusammenfassend können wir sagen, dass in den Versuchen Nr. 3 bis Nr. 6 die Haut nach den Müllerschen Angaben zum Zwecke des Röntgenschutzes mittels Kondensationshochfrequenz behandelt wurde, dass wir versucht haben, die bisherige Schranke der Erythemdosis (Gesamtdose von 5 H im Zeitraum von 14—18 Tagen) zu überschreiten. Es wurde in diesen Versuchen die X-Strahlendose von der $1^1/_2$fachen bis zur dreifachen Erythemdose variiert. In allen vorliegenden Fällen versagte der Hautschutz vollständig. Stets trat eine Röntgenschädigung ein. Im Gegenteil hatte man den Eindruck, dass die Hautreaktion bei dieser „Hochfrequenzschutzmethode“ eher stärker ausfiel, als wie dies aus der bisher geübten einfachen Röntgentherapie bekannt war. Statt der Desensibilisierung schienen mir die Hochfrequenzentladungen eher eine Sensibilisierung der getroffenen Haut hervorzurufen. Ich suchte dies nun durch eine geeignete Versuchsanordnung definitiv

zu entscheiden und wählte hierzu die sogenannte Halbfeldermethode: Ein bestimmtes Hautfeld wird in zwei ungefähr gleich grosse Hälften geteilt und das Zentrum des Feldes und seine beiden Hälften mit Lapis markiert. Die Röntgenröhre wird so zentriert, dass der Zentralstrahl durch die Antikathode (Normalstrahl) das Hautfeld genau im Zentrum schneidet. Denken wir uns nun durch den Normalstrahl und die Grenzen der beiden vorher markierten Halbfelder eine Ebene gelegt, so schneidet diese Ebene den X-Strahlenkegel in zwei Hälften. Die Halbfelder, welche zu beiden Seiten dieser Ebene liegen, werden an entsprechenden Punkten von der Röntgenstrahlung unter genau denselben Dichteverhältnissen getroffen, müssen also bei Überschreiten der Erythemdosis in der Hautreaktion völlig identisches Verhalten zeigen, und zwar in allen Punkten: Latenzzeit, Akme, Deszendenz, Gesamtdauer und Grad. Das eine der Halbfelder (gewöhnlich in den Figuren mit A bezeichnet und durch Schraffierung gekennzeichnet) wurde nun mit Hochfrequenzentladungen in bekannter Weise behandelt, während das zweite Halbfeld von Hochfrequenz verschont blieb. Dann wurde auf beide Halbfelder dieselbe Röntgenlichtdose zu derselben Zeit mit derselben Röhre appliziert. Der Vergleich des Verlaufs der Hautreaktion auf den beiden nebeneinander liegenden Halbfeldern führte nun zu interessanten Befunden. Es gelingt ziemlich leicht, die Hochfrequenz auf das eine Halbfeld zu lokalisieren und ein Übergreifen der Hyperämie auf das andere zu vermeiden.

Versuch Nr. 7 (Halbfeldmethode).
Junger Mann mit Lymphomen der Halsregion.

Fig. 12.
Verkleinerter Massstab des Bestrahlungsfeldes von Versuch 7.



Bestrahlungsprotokoll:

Datum	Röntgen						Kondens.-Hochfrequenz nur Halbfeld A				
	Dose	Milli-amp.	Härtegrad Wh.-Skala	Funken-strecke	Dauer	Fokushaut-Distanz	Elektrode	Intensität	vor	während	nach
4. März	8,5 H.	0,5	5	4—5 cm	20 M.	16 cm	Hart-gummi	mild—mittel	8	20	5 Min.

Region: Haut der seitlichen Halsregion, rechts unterhalb des Ohrläppchens, expeditive Bestrahlung siehe Protokoll.

Verlauf der Hautreaktion:

März 15. (11. Tag) Hautjucken in Halbfeld A, im oberen Teil brennendes Gefühl beim Bestreichen leichter Schmerz in Halbfeld A.

März 16. (12. Tag) Halbfeld A (mit Hochfrequenz behandelt) Erythem, Streichschmerz, Halbfeld B (ohne Hochfrequenz behandelt), ohne Reaktion.

März 22. (18. Tag) Halbfeld A: Erythem stärker, peripher weiter ausgebreitet, Hautjucken, schmerzhaft beim Bestreichen. Halbfeld B: ohne Reaktion.

März 24. (20. Tag) Halbfeld A: Stärkeres Erythem. Halbfeld B: Leichte Rötung.

März 27. (23. Tag) Halbfeld A: Starkes dunkelrotes Erythem, schmerzhaft, leichte Desquamation. Halbfeld B: Geringeres mässiggradiges Erythem, weniger schmerzhaft.

März 29. (25. Tag) Halbfeld A.: Erythem schreitet peripher weiter. Zentrale Hautreaktion schon in Deszendenz. Halbfeld B: Mässiges Erythem, Reaktion bedeutend geringer als auf Hochfrequenz Halbfeld A.

April 7. (34. Tag) Halbfeld A: sehr starke Desquamation, Rötung im Rückgang. Halbfeld B: Peripher frisches Erythem, mässig rot.

April 15. (42. Tag) Halbfeld A: Hautreaktion völlig abgeklungen, nur noch Pigmentierung sichtbar. Halbfeld B: Starke Desquamation zentral, peripher noch leichte Rötung und etwas Streichschmerz.

April 19. (46. Tag) Halbfeld A: Normale Hautverhältnisse. Halbfeld B: Reaktion ebenfalls fast ganz abgeklungen, peripher noch Desquamation und leichte Schmerzhaftigkeit.

April 24. (51. Tag) Halbfeld A, Halbfeld B: völlig normale Hautverhältnisse.

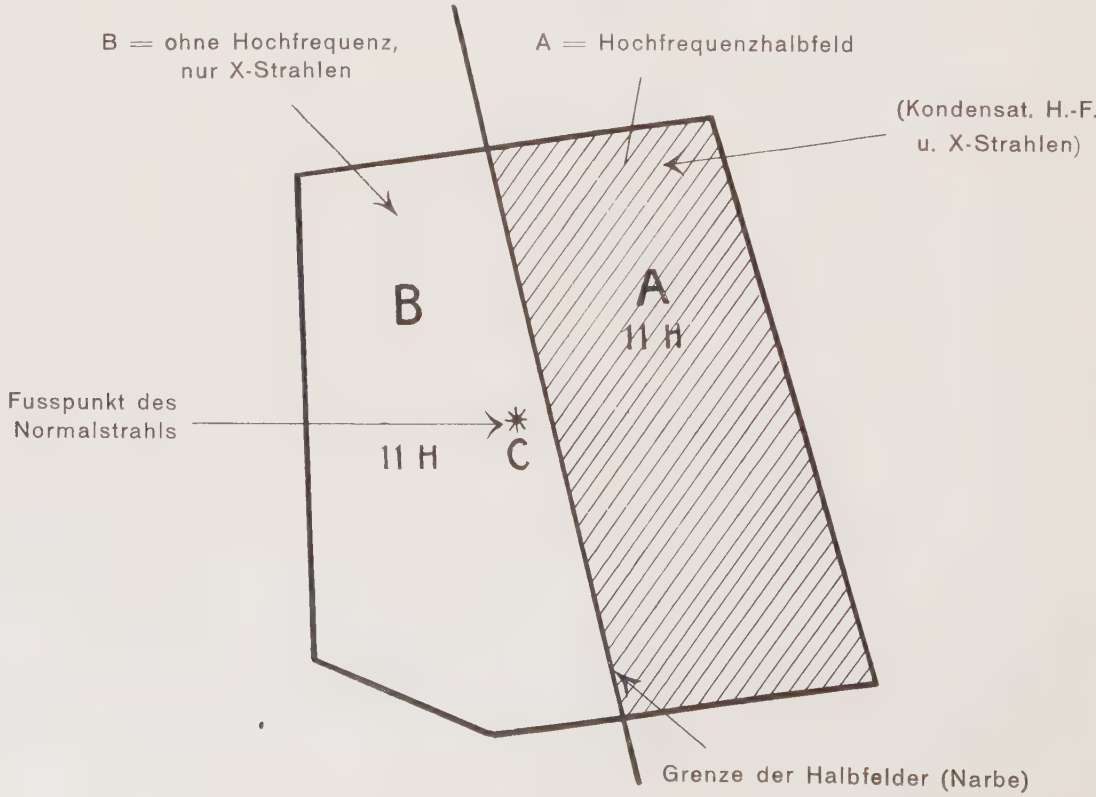
Resultat aus Versuch Nr. 7.

In der rechten seitlichen Halsregion wurde ein bestimmtes Hautfeld in zwei Halbfelder A und B geteilt und an deren Grenze der Zentralstrahl durch die Antikathode eingestellt. Halbfeld A mit Hochfrequenz und Röntgenstrahlen behandelt, Halbfeld B nur mit Röntgenstrahlen derselben Dose von 8,5 H. Die Hautreaktion setzt auf Halbfeld A früher ein (Latenzzeit 11 Tage), erreicht einen intensiveren Grad als die erst später eintretende Hautreaktion des Halbfeldes B (Latenzzeit 20 Tage). Die Gesamtdauer der Röntgenreaktion ist auf beiden Halbfeldern gleich ca. 30 Tage. Wir sehen also, dass bei milder Intensität der Hochfrequenzentladungen die Sensibilisierung der Haut auf dem mit Hochfrequenz behandelten Halbfeldes A deutlich sich bemerkbar macht. Wir haben einen exakten Vergleich an der Hautreaktion des von denselben Röntgendosen unter denselben Verhältnissen getroffenen nebenanliegenden Halbfeldes B.

Versuch Nr. 8:

Dem Patienten wurde vor $1^1/_2$ Jahren wegen Osteosarkom des linken Oberarmes die linke obere Extremität samt Skapula entfernt. Jetziger Befund: Tumor pulmonum, rechts und links im Röntgenbild beide Lungenfelder völlig verdunkelt mit Ausnahme einer kleinen hellen Stelle im rechten Unterlappen. Mässiges pleuritisches Exsudat rechts.

Fig. 13. Versuchsanordnung zu Versuch 8. (Bestrahlungsfeld, verkleinerter Massstab.)



Bestrahlungsprotokoll:

Datum	Röntgen						Kondens.-Hochfrequenz				
	Dose	Milliampère	Härtegrad Walter-Skala	Funken-strecke	Dauer	Fokushaut-distanz	Elektrode	Intensität	vor	während	nach
1. April	11 H	0,4	7	8	40 Min.	16 cm	Hartg. u. Glas	stark	5	40	5 Min.

Verlauf der Hautreaktion:

April 5. (5. Tag) Halbfeld A (X u. Hochfrequenz) Erythem von hellroter Farbe.

Halbfeld B. (X allein, ohne Hochfrequenz) Haut blassrosa.

April 10. (10. Tag) Halbfeld A: Stärkere Rötung, Streichschmerz, Desquamation.

Halbfeld B: Geringe Rötung.

April 12. (12. Tag) Halbfeld A: Intensiv dunkelrotes Erythem, Streichschmerz, starke Desquamation.

Halbfeld B: Erythem viel schwächer, ziemliche Schmerzhaftigkeit.

April 15. (15. Tag) Halbfeld A. Ähnliche Verhältnisse wie 12. April, dazu an einer Stelle in der Nähe des Zentrums Blasenbildung mit Sekretion (Reaktion 2. Grades), starker Streichschmerz.

Halbfeld B: Erythem bedeutend geringer als auf A, Schmerzhaftigkeit vorhanden, aber geringer wie auf A.

April 19. (19. Tag) Photographische Aufnahme der Hautreaktion. Siehe Figur Nr. 14.

Halbfeld A: (Behandelt mit Hochfrequenz und X): Haut von intensiv dunkelroter Farbe, stark schmerzhaft, ein grosser Teil des Feldes zeigt Blasenbildung (Reaktion 2. Gr.). Die Blasenbildung reicht nicht völlig bis zur Halbfeldgrenze heran. Periphere Partien nur starke Desquamation und Erythem.

Fig. 14.
Photogr. Aufn. der Hautreaktion von Versuch Nr. 8 am 19. Tag.

Halbfeld B: (Haut ohne Hochfrequenz nur mit X allein behandelt). Mässiggradiges Erythem, mässige Schmerzhaftigkeit, nirgends Blasenbildung.

April 24. (24. Tag) Halbfeld A: Blasenbildung schreitet nach der Peripherie weiter, dunkle Rötung.
Halbfeld B: Mässige Rötung, bedeutend geringer als A.
Mai 9. (39. Tag) Halbfeld A: Reaktion 2. Grades bildet sich langsam zentripetal zurück.
Halbfeld B: Zeigt jetzt im zentralen Teil ebenfalls Blasenbildung mit Sekretion und starker Rötung (Reaktion 2. Grades).
Mai 11. (41. Tag) Halbfeld A: Reaktion 2. Grades in langsamer Deszendenz. Periphere Reaktion 1. Grades abgeklungen.
Halbfeld B: Blasenbildung breitet sich zentrifugal vom Fusspunkte des Zentralstrahls weiter aus.
Juni 11. Exitus letalis.

Resultat von Versuch Nr. 8:

Es wurde ein Hautfeld des Thorax mit der doppelten Erythemdosis gleichmässig röntgenisiert, nur das eine Halbfeld mit starker Hochfrequenz behandelt. Vergleichen wir die Reaktionen auf den beiden Halbfeldern A und B:

Hautreaktion:

	Halbfeld A (Hochfrequenz u. Röntgen)	Halbfeld B (Röntgen allein)
Latenzzeit:	ca. 5 Tage	7 Tage
Aszendenz:	sehr schnell	langsamer
Akme: erreicht am 15. Tag (2. Gr.)		Am 39. Tag, wenn in A schon Deszendenz eintritt
Gesamtdauer:	ungefähr gleich, über 63 Tage	Nicht beobachtet.
Deszendenz:	A rascher als in B	

Zusammenfassung zu Versuch 8.

Bei sehr hohen Röntgendosen (11 H) verwischen sich die Intensitätsunterschiede in der Hautreaktion zwischen dem Halbfeld mit und demjenigen ohne Hochfrequenz. Der sensibilisierende Einfluss der Hochfrequenzentladungen zeigt sich allerdings noch in der Verkürzung der Latenzzeit und in der bedeutend rascheren Aszendenz der Reaktion auf dem Hochfrequenzhalbfeld, der allerdings auch wieder eine raschere Deszendenz folgt. Die Röntgenreaktion scheint also bei hohen X-Dosen durch die Kondensationshochfrequenz nur noch in ihrem Temperament beeinflusst zu werden, mehr als in der Gesamtheit ihrer Wirkungen.

Versuch Nr. 9 (Halbfeldmethode).
Patientin S. O. Region: Thorax vorn oben, median.
Bestrahlungsfeld von Versuch Nr. 9 (Vierfeldversuch).

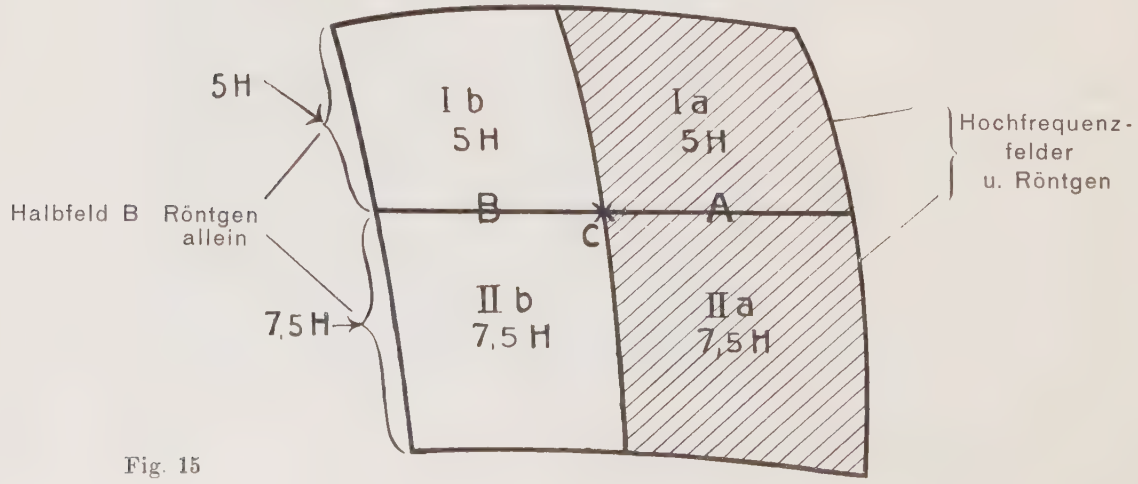


Fig. 15

Bestrahlungsprotokoll:

Dosen Teilfeld	Röntgen							Kondensation Hochfrequenz				
	Datum	Dose	Milli-ampère	Härtegrad Wehnelt-Skala	Funken-strecke	Dauer	Fokus Haut-distanz	Elek-trode	Inten-sität	vor	während	nach
										Minuten		
I	10.April	5 H	0,4	6,2	8—6	15 Min.	16 cm	Hartg.	stark	5	15	5
II		7 H	0,4	6,2	8—4	20,5	16 „	Hartg.	stark	5	20,5	5

In den folgenden Versuchen wird die Halbfeldmethode bezüglich Hochfrequenzapplikation beibehalten, dabei aber die obere und untere Hälfte des Bestrahlungsfeldes I und II mit verschiedenen Röntgendosen bedacht. Wir bekommen dadurch einen Vierfelderversuch. S. Figur.

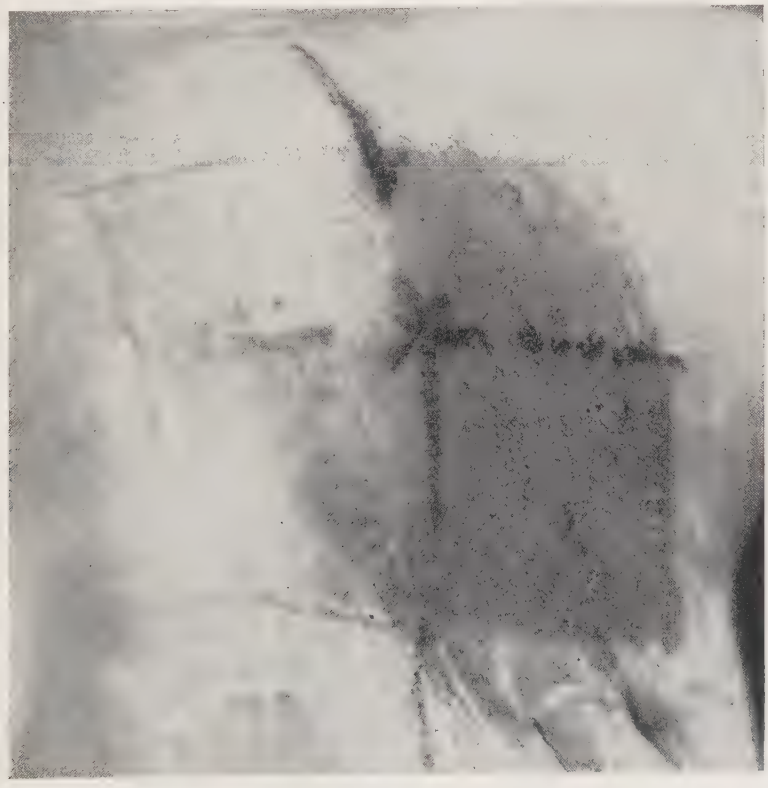
Verlauf der Hautreaktion.

April 13. (3. Tag) Teilfeld Ib und IIb (ohne Hochfrequenz, Röntgen allein) blass, Teilfeld Ia und IIa (mit Hochfrequenz und Röntgen) mässige Rötung, Streichschmerz.

April 15. (5. Tag) Ib und IIb ohne Reaktion blass, Ia und IIa mässiges Erythem, scharfkantig begrenzt. Streichschmerz, kein Jucken.

April 20. (10. Tag) Ib. Ganz leichtes Erythem, Jucken, IIb, stärkeres Erythem, Ia starkes Erythem Desquamation, IIa Erythem noch stärker als in Ia. Starker Streichschmerz und Desquamation. Photographische Aufnahme der Hautreaktion. Verhältnisse siehe in Fig. 16.

Fig. 16. Photograph. Aufnahme der Hautreaktion in Versuch Nr. 9, am 10. Tag. (4. Teilfelderversuch.)



April 24. (14. Tag) Ib und IIb: Erythem stärker (Streichschmerz), Ia Erythem blasser, Desquamation, IIa Erythem ebenfalls blasser, noch dunkler als Ia.

April 28. (18. Tag) Ib blasser, IIb Rötung stationär, Ia stark abgeblasst, IIa ebenfalls, noch Desquamation, keine Schmerzhaftigkeit.

Mai 4. (27. Tag) Ib blass, Reaktion beendet, IIb noch ganz leichtes Erythem und leichte Schmerzhaftigkeit, Ia und IIa noch leichte Rötung. Desquamation, keine Schmerzhaftigkeit.

Weitere Beobachtung aus äusseren Gründen nicht mehr möglich.

Zusammenstellung der Resultate von Versuch Nr. 9.

Hautreaktion der beiden Teilfelder Ia und Ib (zu 5 H).

	Ia (5 H u. Hochfrequenz)	Ib (5 H) ohne Hochfrequenz
Latenzzeit	3 Tage	10 Tage
Akme	am 8. Tag	
Deszendenz	am 14. Tag	am 18. Tag beginnend
Gesamtdauer	ca. 25 Tage	15 Tage
Grad	I	I

Hautreaktion der beiden Teilfelder IIa und IIb (zu 7,5 H).

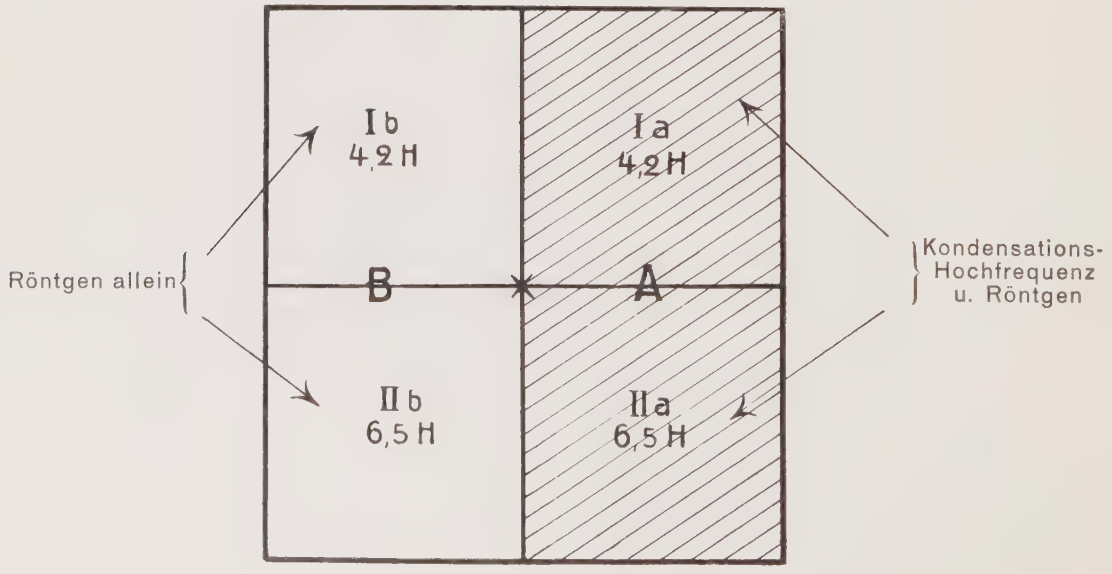
	Teilfeld IIa (7,5 H u. Hochfrequenz)	IIb (7,5 H, ohne Hochfrequenz)
Latenzzeit	3—5 Tage	8—10 Tage
Akme	am 10. Tag	am 15. Tag
Deszendenz	(photogr. Reproduc. Fig. am 14. Tag	am 21. Tag beginnend
Ende der Reaktion	am 25. Tag	am 25. Tag
Gesamtdauer	22 Tage	15 Tage
Grad	I	I

Wir sehen hier wieder, wie die kräftigen Hochfrequenzentladungen die Haut für die Röntgenstrahlung deutlich sensibilisieren, was sowohl in den Dosenteilfeldern à 5 H wie in denselben à 7,5 H zum Ausdruck gelangt, vor allem in Verkürzung der Latenzzeit, rascher Aszendenz, Früheintreten der Akme, die eher einen etwas höheren Grad erreicht, aber kürzer andauert, rascherer Deszendenz auf der hochfrequenzbehandelten Haut.

Versuch Nr. 10.

Patientin L. A. (Hochfrequenzhalbfeldmethode und Dosenteilfelder analog Versuch Nr. 9), Bestrahlungsregion: Epigastrium, median, über einer Karzinommetastase der Leber.

Fig. 17. Bestrahlungsmodus in Versuch 10.



Bestrahlungsprotokoll:

Datum	Röntgen							Kondensation Hochfrequenz				
	Dosen Teilfeld	Dose	Milli-ampère	Härtegrad Wehnelt-Skala	Funken-strecke	Dauer	Fokus Haut-distanz	Elektrode	Intensität	vor	während	nach
										Minuten		
11. April	I	4,2 H	0,4	7,5	12,5	14 Min.	16 cm	Hartg. u. Glas	mittelstark	5	14	5
11. „	II	6,5 H	0,4	7,5	10,5	23 „	16 „	„	„	5	23	5

Nach der Sitzung zeigt die mit Hochfrequenz behandelte Haut deutliche mässige Hyperämie.

Verlauf der Hautreaktion:

April 12. (2. Tag) Ib und IIb völlig blass, Ia und IIa leichte Rötung.

April 15. (5. Tag) Ib und IIb blass, Ia und IIa etwas stärkere Rötung, keine Schmerzhaftigkeit.

April 18. (8. Tag) Ib und IIb blass, Ia und IIa ziemlich intensive Rötung, IIa stärkere Rötung als Ia. Leichte Desquamation.

April 21. (11. Tag) Ib und IIb (ohne Hochfrequenz) blass, keine Hautreaktion, Ia und IIa (mit Hochfrequenz) dunkle Rötung, starke Desquamation, ziemlich starker Streichschmerz.

April 24. (14. Tag) Ib und IIb keine Hautreaktion, blass, schmerzlos, kein Jucken.

Ia und IIa noch dunkelrotes Erythem, stellenweise bereits im Rückgang, Maximum der Rötung auf IIa.

Mai 1. (20. Tag) Ib ohne Hautreaktion, IIb ebenfalls, nur leichte Pigmentierung, leichter Juckreiz auf IIb.

Ia blasser, IIa ebenfalls blasser, doch noch ziemlich gerötet, starke Desquamation.

Weitere Beobachtung der Patientin ist nicht möglich.

Zusammenfassung der Resultate von Versuch Nr. 10.

Es wurde ein Dosenteilfeld mit 4,2 H, also nur $^3/_4$ Erythemdosis bestrahlt, die eine Hälfte davon mit Hochfrequenz behandelt (Ia), die andere Hälfte mit Röntgenstrahlen allein (Ib). Ib blieb nahezu reaktionslos, Ia zeigt deutliche Röntgenreaktion 1. Grades, obwohl nur $^3/_4$ der Erythemdose einer harten Strahlenart dieses Feld trafen. Bei diesen relativ kleinen Dosen ist der sensibilisierende Einfluss der Kondensationsfunkenhochfrequenz recht deutlich ausgesprochen. Dasselbe Resultat ist auch aus dem Verhalten der Felder IIa und IIb herauszulesen. (Dosis 7,5 H.)

Versuch Nr. 11.

50jährige Frau, Lungenmetastasen eines Mammakarzinoms (Rezidiv). Der Versuch bringt nichts wesentlich Neues, und ich will deshalb nur kurz zusammenfassend referieren. Die Anordnung war analog Versuch 10. Die Dosenteilfelder erhielten 4,5 H und 6,2 H einer mittelweichen Strahlung, die Beobachtung erstreckt sich nur bis zum 11. Tag. Bemerkenswert ist der Befund, dass die Pigmentreaktion auf dem Hochfrequenzhalbfelde bei gleicher Röntgendosis intensiver ausfällt als auf dem mit Röntgenstrahlen allein behandelten. Es ist dieser Befund der Ausdruck eines ähnlichen Verhalten wie Reicher und Lenz es bei der Desensibilisierung der Haut mittels Adrenalin beobachten. Wir konnten dort im umgekehrten Sinne auf dem mit Adrenalin desensibilisierten Halbfeld eine geringere Pigmentreaktion beobachten.

Zusammenfassung der Versuchsresultate über die Wirkung der kombinierten Anwendung von Hochfrequenzentladungen (Kondensationsfunken) und Röntgenstrahlen.

1. Die Wirkung der aus der Kondensatorelektrode entnommenen Hochfrequenz, wie sie von Müller zur Desensibilisierung der Haut empfohlen wurde, ist im Prinzip Funkenwirkung (mechanischer, thermischer, photochemischer [ultraviolett] Natur). Die rein elektrischen Wirkungen und die thermischen Wirkungen des Stromflusses sind zu gering, um für die biologische Wirkung ernsthaft zur Diskussion gezogen zu werden. Anämisierende Wirkungen entfalten die Hochfrequenzentladungen mittelstarker Intensität auf der getroffenen Haut nur vorübergehend (Phase der lokalen Vasokonstriktion: 30—50 Sek.). Nach etwa einer Minute

zeigen die getroffenen Hautpartien regelmässig eine deutliche Hyperämie. Letztere fällt um so intensiver aus und hält um so länger an je stärker die Kraft der Entladungen war. Letztere ist im wesentlichen abhängig von der im Generator gewählten Distanz der Funkenstrecke. Je länger die Applikationsdauer, um so anhaltender auch die Hyperämie. Auch bei sehr milden Kondensationsfunken ist eine deutliche, dauernde Anämisierung der Haut, wie sie etwa derjenigen der Kompression oder der Adrenalininjektion zu vergleichen wäre, nicht zu beobachten. Die Modulation und Änderungen der Intensität der Hochfrequenzströme hat keine prinzipiellen qualitativen Verschiedenheiten der physiologischen Wirkung zur Folge.

2. Bei Beurteilung der Frage ob Desensibilisierung oder Sensibilisierung durch Hochfrequenzentladungen erfolgt, muss vor allem diejenige Fehlerquelle ausgeschaltet werden, die am eklatantesten ist, d. h. die X-Strahlenabsorption durch Hochfrequenzelektroden aus Glas und mit Graphitfüllung, und es ist bei einschlägigen Versuchen eine X-strahlendurchlässige Elektrode zu verwenden, wie Verfasser sie konstruierte.

3. Die Röntgenreaktion auf der mit genannter Form der Hochfrequenz behandelten Haut zeigt in allen Versuchen ein ganz typisches Verhalten. In keinem der Versuche war bei exakter Dosierung und Vermeidung anderer Fehlerquellen von einer Desensibilisierung etwas zu beobachten. Im Gegenteil, die meisten Versuche sprechen unzweideutig dafür, dass die kombiniert behandelte Haut für Röntgenstrahlen **sensibilisiert** wird. Am klarsten ist das Verhalten der Röntgenreaktion mit und ohne Hochfrequenz zu beurteilen aus meinen sog. Halbfeldversuchen (Versuch Nr. 8—11). In diesen Versuchen wurden je zwei dicht nebeneinanderliegende Hautfelder, an deren Grenze der Zentralstrahl durch die Antikathode eingestellt war, mit derselben Röhre in derselben Sitzung gleichzeitig bestrahlt, sie standen also unter denselben Bedingungen der X-Strahlenemission. Das eine Halbfeld wurde mit Hochfrequenz in der bekannten Weise vorbehandelt, das andere Halbfeld der Röntgenwirkung allein ausgesetzt. Die Röntgenreaktion der Haut zeigte im allgemeinen auf dem Hochfrequenzhalbfeld stets einen intensiveren Grad; besonders charakteristisch ist für die Röntgenreaktion der unter Hochfrequenzreiz gestandenen Haut folgendes Verhalten:

1. bedeutende Verkürzung der Latenzzeit, bei Dosen um 5 H, Latenzzeit oft nur 2—3 Tage,
2. rasche Aszendenz,
3. rasch eintretende, hohe Akme,
4. rasche Deszendenz,
5. die Gesamtdauer der Reaktion ist meist dieselbe wie bei nicht kombiniert behandelter Haut, oft wird sie eher etwas verkürzt.

Am deutlichsten zeigt der Hochfrequenzreiz seine sensibilisierende Wirkung, wenn wir Hautfelder vergleichen, auf welche X-Strahlendosen um und unter 5 H gewirkt haben. Dann zeigt sich die Angriffskraft der X-Strahlen auf dem Hochfrequenzhalbfeld deutlich verstärkt. Bei sehr hohen X-dosen, über 10 H, zeigt die Röntgenreaktion des Hochfrequenzfeldes, wenn man das Gesamtverhalten in Berücksichtigung zieht, ungefähr dieselbe Intensität. Verändert zeigt sich auch dann noch die Reaktion in einzelnen Charakteristika: kurze Latenzzeit, rasche Aszendenz, also wie bereits erwähnt mehr eine Beeinflussung im Temperament als im Grad der Reaktion. Ein ähnliches Verhalten wie in den vorliegenden Beobachtungen zeigte die Röntgenreaktion der Haut in den Versuchen von H. E. Schmidt[1]), der zur Sensibilisierung Wärmestrahlung (Glühbirne) oder Ultraviolett-Strahlungen (Quecksilberlicht) benützte, indem er vor der X-Strahlenapplikation mit den genannten Agentien ein Erythem erzeugte

H. E. Schmidt beobachtete hierauf eine deutliche Sensibilisierung der so vorbehandelten Hautstellen und empfahl diese Art der Röntgentherapie zur Anwendung in der Dermatologie.

[1]) H. E. Schmidt, Röntgentaschenbuch, Bd. 3. 1911.

An seinen Versuchen fällt mir ebenfalls die enorme Verkürzung der Latenzzeit auf (bei $^3/_4$ E. D. z. B. 2—7 Tage), wie ich sie als besonders charakteristisch für die Hochfrequenzsensibilisierung gefunden habe. Diese Übereinstimmung erscheint sehr verständlich, wenn wir uns erinnern, dass der Reiz der kleinen Hochfrequenzfunken der Kondensatorelektrode im wesentlichen mechanischen, Ultraviolett- und Wärmewirkungen seinen Ursprung verdankt. Die Sensibilisierung für X-Strahlen durch Hochfrequenzentladungen wird um so deutlicher je kräftiger die Hochfrequenzfunken gewählt werden. Die Fulguration würde also in dieser Hinsicht den bedeutendsten Effekt aufweisen können.

Müller glaubte in der Hochfrequenz der Kondensatorelektrode einen Hautschutz für Röntgenstrahlen gefunden zu haben, der unseren therapeutischen Möglichkeiten in der Tiefenbestrahlung, namentlich auf dem Gebiete der malignen Tumoren einen weiten Ausblick verliehen hätte. Leider sind diese Hoffnungen ganz unberechtigt, und wir werden also wie bisher auch in Zukunft bei jeder diakutanen Röntgentherapie an der hohen Strahlenempfindlichkeit der Haut eine Schranke unseres Könnens finden. Hingegen scheinen die Hochfrequenzentladungen doch für die oberflächliche Röntgentherapie in vielen Fällen von gewissem Nutzen zu sein. Zur Sensibilisierung der intrakutan gelegenen Bestrahlungsobjekte der Dermatologie, insbesondere für röntgenrefaktäre, ulzerierte, oberflächliche Kankroide scheinen sie mir nicht ungeeignet zu sein. Dabei würde es vollständig genügen, diese Sensibilisierung mit kräftigen Funkenentladungen, die eben noch vom Patienten ertragen werden, etwa während der Zeit von 10—15 Minuten jeweils vor der X-Strahlenemission vorzunehmen. Die gleichzeitige Behandlung mit Röntgen und Hochfrequenz werden sich wohl die meisten Praktiker schenken, da sie zwei Induktoren benötigt und prinzipielle Vorteile nicht bringt. Wem allerdings zur Sensibilisierung Diathermieströme zur Verfügung stehen, der wird von der Hochspannungs-Hochfrequenz, der Funkenmethode, kaum mehr Gebrauch machen. Liest man die optimistisch ausklingenden Berichte von Christoph Müller und G. Klemperer, so könnte man die Frage aufwerfen, ob die „aussergewöhnlichen" Erfolge Müllers vielleicht einer ganz anderen eigentümlichen Wirkung der Kombination von Hochspannungs-Hochfrequenz und Röntgenstrahlen ihr Zustandekommen verdanken; vielleicht, dass sich Müller nur geirrt hat in der Erklärungsweise seiner Methode, vielleicht, dass seinen Resultaten doch etwas Besonderes zuzuschreiben wäre. Es könnte doch auch die Tiefe, d. h. der Tumor durch die Hochfrequenzentladungen sensibilisiert werden. Dass letzteres sehr unwahrscheinlich ist, habe ich bereits früher eingehend erörtert. Von einem besonderen Tiefeneffekt dieser kombinierten Methode gegenüber der einfachen Röntgentherapie lässt sich nach den Müllerschen Veröffentlichungen kaum sprechen. Dieser Schluss folgt nicht etwa direkt aus den vorliegenden experimentellen Untersuchungen, die ja in ihrer ganzen Anlage den Charakter des Versuches hatten und in erster Linie vorgenommen wurden zur Entscheidung der praktisch und theoretisch wichtigen Frage: Desensibilisierung oder Sensibilisierung der Haut durch Hochfrequenzentladungen? Oft genug wurde ja die weitere Tiefentherapie in meinen Versuchen durch die eingetretene Hautreaktion unmöglich gemacht. Es sind eine Reihe anderer wichtiger Gründe, die gegen die Annahme sprechen, dass die Kondensationsfunken subkutan und tiefer gelegene Gewebe für Röntgenstrahlen sensibler machten. Nach den eingehenden Untersuchungen von L. Freund[1]) erstreckt sich die Wirkung der intensivsten Hochfrequenzfunken (Fulguration in Narkose) bis kaum in die tieferen Partien des Coriums selber; wie sollen wir da dem schwachen Kondensationsfünkchen eine so magische Tiefenwirkung zumuten? Dann bleibt ja neben dem Funken noch die ihn begleitende, strömende Hochfrequenzenergie. Dass die letztere in die Tiefe eindringt, genau wie etwa ein Gleichstrom, brauchen wir seit den eingehenden Untersuchungen Nernsts nicht mehr zu bezweifeln. Doch was sollen wir von diesen schwachen Hochfrequenz-

[1]) L. Freund: Die elektrische Funkenbehandlung der Karzinome (Fulguration).

strömen von höchstens 20—200 Milliampère Stromstärke an erheblichen biologischen Wirkungen erwarten, da sie ja noch durch den Funkenübergang und die Streuung gegen die Tiefe hinein bedeutend an Intensität verlieren. Welches Agens könnte dabei die Tumoren für X-Strahlen sensibilisieren? Die Funkenwirkung ist nur oberflächlich, elektrolytische Wirkungen fallen bei Hochfrequenz vollends ausser Betracht. Elektrische Wirkungen anderer Art sind äusserst hypothetisch. Es blieben noch die Spuren von Wärmewirkungen, die ein Hochfrequenzstrom von so geringer Stromstärke in der Tiefe noch hervorzurufen vermag. Wenn wir hiermit die enormen Quantitäten von Wärme vergleichen, welche uns Diathermieströme in der Tiefe entwickeln und wenn wir weiter bedenken, dass auch mittels der Diathermie der Nachweis einer Tiefensensibilisierung erst bei hohen Stromstärken gelingt, so werden wir kaum den Mut finden, den d'Arsonvalströmen magische Tiefenwirkungen auf maligne Tumoren zuzuschreiben. Wir werden in dieser Richtung vom klinischen Standpunkte aus auch von den „millionenfachen Variationsmöglichkeiten" der d'Arsonval-Hochfrequenz bezüglich Dämpfung, usw. (Müller, Dessauer) die ja, wie wir sahen, schon physikalisch genommen sehr problematisch erscheint, uns wenig versprechen dürfen. Wie ich eingehend darzulegen versuchte, handelt es sich biologisch genommen bei der Wirkung der besprochenen Energieart um in ihrem Wesen klar zu überschauende therapeutische Faktoren, die sich im wesentlichen, trotz aller physikalischen Modulationsmöglichkeit der Hochfrequenzenergie in ziemlich monotoner Weise in dem oberflächlichen Effekt von Funkenentladungen erschöpfen.

Es wäre natürlich zu weit gegangen, wenn wir alle die physiologischen Rätsel dieser Art der Hochfrequenz für endgültig gelöst ansehen. Der wirkliche Stand unserer Erkenntnis ist noch weit davon entfernt. Wenn wir aber die Hochfrequenzfunken für eine praktisch so wichtige Anwendung wie sie die Desensibilisierung oder die Sensibilisierung für Röntgenstrahlen darstellt, heranrufen, so sind wir verpflichtet, nur auf exakten naturwissenschaftlichen Grundlagen aufzubauen. Wir können hierbei nicht mit den millionenfachen Möglichkeiten des noch Unerforschten operieren. Das einfache therapeutische Experiment in klar zu überschauender Anordnung hat unsere vorläufige Fragestellung in befriedigender Eindeutigkeit beantwortet, und wir werden nicht schlecht beraten sein, wenn wir unser praktisch-therapeutisches Handeln nach seinen Aussagen richten.

B. Die Kombination von Diathermie (s. Thermopenetration) und Röntgenstrahlen.

Diathermie bedeutet: Erzeugung von therapeutischer Wärme im tierischen oder menschlichen Gewebe in Form von elektrischer Stromwärme[1]) (Widerstandswärme). Schaltet man einen metallischen oder elektrolytischen Leiter (tierisches Gewebe) als Widerstand in den Kreis eines elektrischen Stromes ein, so gilt für den Teil der Stromarbeit, der als Wärme auftritt, das Joulesche Gesetz, gleichgültig ob wir Gleichstrom, Wechselstrom niederer Frequenz oder Hochfrequenzströme (elektrische Schwingungen) verwenden:

$$Q = J^2 W t \cdot 0{,}24 \text{ gr. calor.} \quad \text{(Joulesches Gesetz)}$$

wobei:

Q = Gebildete Wärmemenge in gr. calor.
I = Stromstärke in Ampère.
W = Widerstand in Ohm.
t = Zeit in Sekunden.

[1]) Diathermie ist Energietransformation: Elektrische Energie wird in Wärmeenergie verwandelt; der Transformator ist der Körperwiderstand.

Gleichstrom und Wechselstrom niederer Frequenz sind aus wohlbekannten physiologischen Gründen zur Produktion erheblicher Wärmemengen im lebenden Gewebe therapeutisch nicht zu gebrauchen, infolge der sie stets begleitenden elektrolytischen Wirkungen und Ionenverschiebungen würden sie in den in Betracht kommenden Stromstärken (0,5—3 Ampère) heftige Erregung des neuro-muskulären Apparates, ja vitale Gefahr im Gefolge haben. Deshalb rufen wir zur vorliegenden Aufgabe die elektrischen Schwingungen (Hochfrequenzströme) heran, die infolge der ungeheuren Raschheit ihres Polwechsels (1 Polwechsel erfolgt innerhalb $^1/_3$—$_{6000000}$ Sekunden) elektrolytische Wirkungen und Ionenverschiebungen nur in äusserst geringem Masse entfalten.

Die gewöhnlichen d'Arsonvalapparate, die wir im vorigen Kapitel kennen gelernt haben, sind praktisch unfähig Hochfrequenzströme in der Intensität zu erzeugen, wie wir sie zur Erzeugung grösserer Wärmemengen benötigen. Bei der Diathermie muten wir dem therapeutischen Stromkreis (Resonanzkreis) einen ganz bedeutenden Energieentzug zu (bis 500 ja bis 700 Watt pro Sekunde). Hierbei würden auch die stärksten d'Arsonvalapparate versagen, vor allem in folgenden Punkten:

1. Ungenügende sekundäre Wattzahl liefern,

2. bei dem hohen Energieentzug ganz unregelmässig, diskontinuierlich arbeiten, dadurch Auftreten von interkurrenten Gleichstromimpulsen und faradoider Nervenerregung.

3. Nicht die starke Dämpfung macht, wie oft in der medizinischen Literatur irrtümlich hervorgehoben wird, die d'Arsonvalhochfrequenzgeneratoren ungeeignet für die Zwecke der Diathermie, sondern die primitive Beschaffenheit ihrer Funkenstrecke, welche die Hauptschuld an dem geringen therapeutischen, sekundären Nutzeffekt und dem unregelmässigen Gang der Apparatur bei hoher Belastung trägt. Wie wir sehen werden, ist das heute technisch vollkommenste System für Diathermie, die M. Wienschen Zischfunken, gerade gekennzeichnet durch seinen stark gedämpften Schwingungsverlauf.

4. Eine fernere unzweckmässige Beigabe der d'Arsonvalhochfrequenz ist ihre hohe Spannung (über 100000 Volt). Letztere hat nur Sinn für die Zwecke der Funkentherapie, bei der Diathermie wäre sie gefährlich. Ist nämlich ein langer, blendender Teslafunke infolge seiner geringen Stromstärke ein biologisch relativ harmloses Ding, so entfalten die Intensivfunken der Diathermieströme (0,5—3 Ampère) am Orte ihres Auftreffens intensive Verbrennungen. Die Hitzewirkung steht beim Diathermiefunken weitaus im Vordergrunde. Wir müssen die Funkenbildung bei der Diathermie nach Möglichkeit vermeiden und verleihen deshalb den Hochfrequenzströmen des Therapiekreises nur Spannungen von 200 bis im Maximum 700 Volt.

Die moderne Hochfrequenztechnik hat dank dem enormen Ansporn durch die drahtlose Telegraphie das Problem der Erzeugung elektrischer Schwingungen hoher Intensität in völlig befriedigender Weise gelöst.

Zur Erzeugung der für Diathermie geeigneten Schwingungen hat sie zwei Systeme geschaffen, die beide als Sendertypen in der drahtlosen Telegraphie in Anwendung sind:

1. Das Zischfunkensystem, entdeckt von Max Wien (1906).

Oft auch als Stosserregungssystem (Wien, Zenneck) oder auch als Löschfunkensystem (Rendahl) bezeichnet.

Hauptcharakteristikum: die Wiensche Funkenstrecke (Mikrofunken). Sehr hoher sekundärer Nutzeffekt, starker Energieentzug möglich, grosse Betriebssicherheit.

Schwingungsverlauf:

Primär: stets stark gedämpfte, kurze Wellenzüge.

Sekundär: a) weniggedämpft, wenn kein Energieentzug, d. h. Sekundärkreis von sehr geringem Widerstand. Dann Stosserregung möglich. (Bei Diathermie nie der Fall, nur in der Funkentelegraphie möglich.)

b) stark gedämpft, diskontinuierlich. (Im Maximum 10% der Zeit stromführend, 90% stromlose Pausen). Bei Energieentzug und hohen Widerständen im Sekundärkreis. Keine Stosserregung. Bei Diathermie stets diese Verhältnisse.

2. Der Lichtbogengenerator. (Poulsen-Lampe 1906.)

Oft zitiert wegen seiner „ungedämpften" kontinuierlichen Schwingungen. Sekundärer Nutzeffekt geringer. Schwingungsverlauf im Resonanzkreis (Therapiekreis) nur ungedämpft und kontinuierlich, wenn sehr geringer Energieentzug (unter 20—30 Watt). Letztere Bedingung bei Diathermie nie erfüllt (nur im Experiment und in drahtloser Telegraphie), bei hohem Energieentzug Schwingungsverlauf sehr **diskontinuierlich** und gedämpft. (Letzteres stets der Fall bei Diathermie.)

Beide Systeme spielten in der neueren Entwicklung der drahtlosen Telegraphie eine grosse Rolle. Zwischen ihnen entbrannte um die Palme der Drahtlosen in den letzten Jahren ein hartnäckiger Kampf unter der berühmten Parole „Funke oder Lichtbogen". Es war leider wie so oft in technischen Fragen zum Teil ein Kampf der Patente und finanziellen Interessen. Der Zischfunke hat aber dort endgültig gesiegt und erfreut sich heutzutage der weitaus grössten Verbreitung (Telefunken) und dies dank seiner oft genannten Vorzüge:

1. Viel höherer Nutzeffekt.
2. Störungsfreiheit im Gang der Apparatur.
3. Einfache Behandlung.

Ich erwähne diese Tatsachen, weil neuerdings der Kampf der beiden Systeme um die Thermopenetration wieder eine gewisse Auferstehung feiert[1]).

Die meisten der zurzeit im Handel sich befindenden Diathermieapparate zeigen das Wiensche Zischfunkensystem in allerhand Detailmodifikationen. Bekannt sind mir die Apparate von Reiniger, Gebbert & Schall, Siemens & Halske, Veifawerke, Sanitas, Koch & Sterzel.

Lichtbogengenerator verwenden C. Lorenz und Thermopenetration G. m. b. H., Leipzig, letztere mit Ruhmerschem Radkreis als nebengeschaltetem Zusatzschwingungskreis.

Für die therapeutische Praxis, vor allem zum universellen Gebrauch, lokaler Diathermie, Kondensatorbett, Autokonduktion, Lichtbogenoperation, (de Forestsche Nadel) sind Apparate mit Wienscher Funkenstrecke dem Lichtbogen was Einfachheit und Sicherheit des Betriebes anbelangt, weit überlegen, dazu kommt ihre sehr hoch zu steigernde sekundäre Stromstärke. Der Apparat, den wir in unserer Klinik verwenden (neuestes Modell von Reiniger, Gebbert & Schall) ist mit Doppelfunkenstrecke ausgestattet, von denen schon die eine allein (bei Kurzschluss der zweiten) imstande ist, bei direktem Kontakt der Therapieelektroden, ohne Zwischenschaltung des Körpers, eine sekundäre, therapeutische Energie von 5 Ampères zu liefern. Betriebsstörungen und faradische Wirkung waren bis jetzt bei stärkster Belastung und stundenlangem Betriebe nicht zu beobachten. Rein technisch hat diese Apparatur die Diathermiefrage in vollkommener Weise gelöst.

Da ich das Wiensche Erregungsprinzip als für das Diathermiesystem erachte, so möchte ich in folgendem kurz auf das Physikalische desselben eintreten:

Der Diathermiegenerator mit Zischfunkensystem[2]) nach Max Wien.

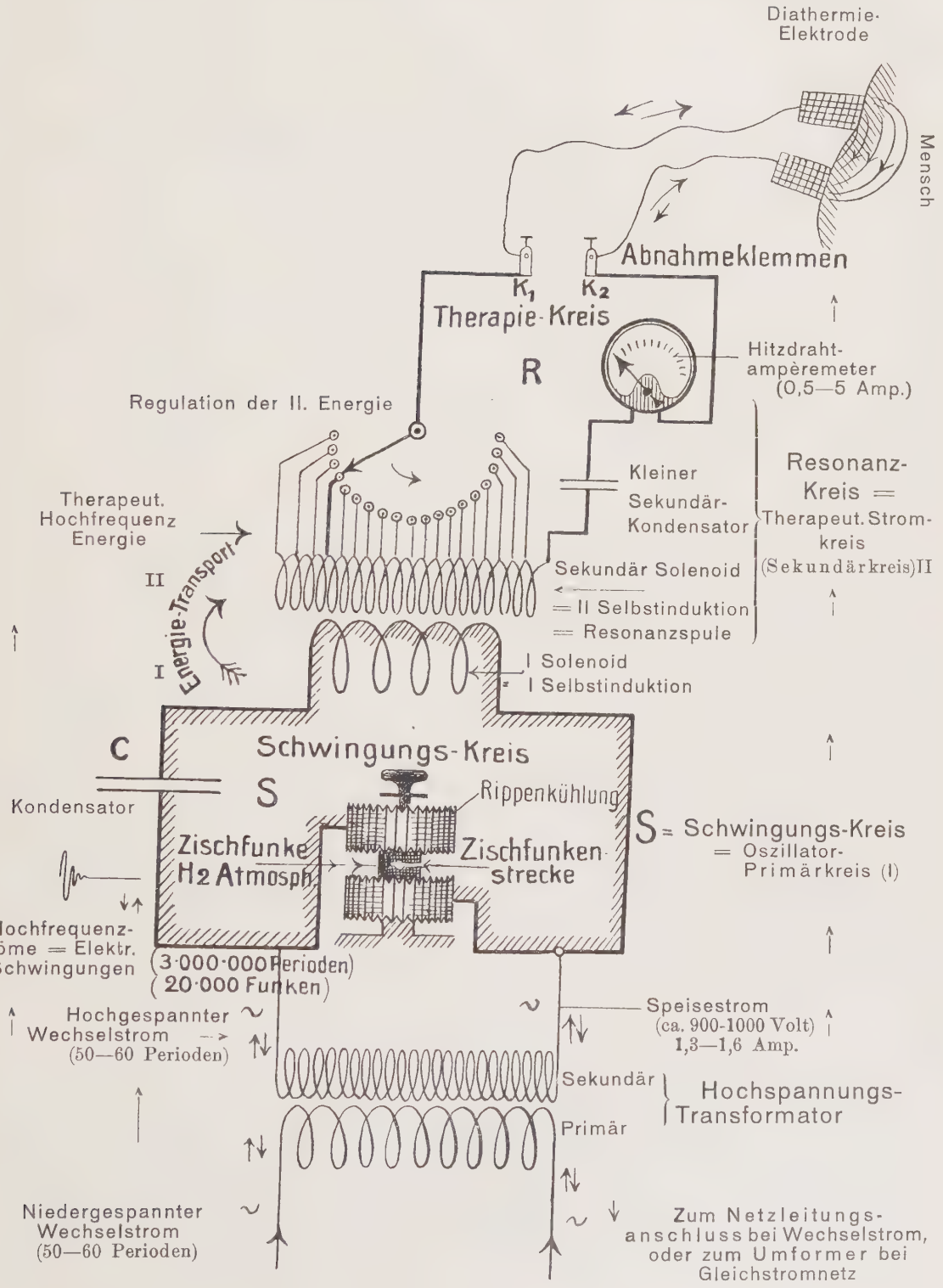
Es würde uns zu weit führen, hier auf die genaue „Anatomie" und die Details der interessanten „Physiologie" dieses elektrischen Organismus einzugehen. Ein Diathermiegenerator von Wienschem Typus zeigt einen ganz ähnlichen Bau wie die bereits besprochene gewöhnliche d'Arsonvalapparatur, und ich verweise auf das im ersten Teil hierüber Gesagte. Alle typischen Bestandteile finden wir hier wieder:

[1]) Wer sich für diese historische Entwicklung des Problems der elektrischen Schwingungserzeugung interessiert, findet alle wichtigen Daten in der Elektrotechnischen Zeitschrift, Jahrgang 1906—1910 und im Jahrbuch für drahtlose Telegraphie und Telephonie.

[2]) Der Name „Zischfunken" sollte zur Ehrung seines Vaters Max Wiens, des Schöpfers des Systems beibehalten werden, auch wenn der Funke das von Wien beobachtete leise Zischen nur unter ganz bestimmten Bedingungen zeigt.

Speisestromkreis, Schwingungskreis mit Kondensator (oszillierendes Prinzip), Funkenstrecke, Primärselbstinduktionspule, Resonanzkreis = Therapiekreis mit Sekundärselbstinduktion, Abnahmeklemmen usw.

Fig. 17. **Schema eines Diathermieapparates mit M. Wienschem Zischfunkensystem.**



Allerdings erfahren einzelne Teile wesentliche Modifikationen. Zur Speisung des Schwingungskreises dient hier gewöhnlich nicht der Sekundärstrom eines Induktors, die Speiseenergie zur Aufladung der Kondensatoren entstammt einem gewöhnlichen technischen Hochspannungstransformator (1000 Volt), letzterer bezieht seine Energie, sinusoidalen Wechselstrom von gewöhnlicher Periodenzahl, von der Netzleitung. An Orten, wo diese Gleichstrom führt, besorgt ein vor den Transformator geschalteter Einanker Umformer (Konverter) die Umwandlung in Wechselstrom. Wechselstrom brauchen wir deshalb als Speisestrom, weil nur letzterer die Eigenschaft zeigt, in Kondensatorkreise (wie der Schwingungskreis ja einen darstellt) einzutreten.

Die bedeutungsvollste Veränderung gegenüber der d'Arsonvalapparatur zeigt aber die **Funkenstrecke**. In ihr steckt das eigentliche Wesen und Geheimnis (hier allerdings ein offenes) des Wienschen Hochfrequenzerregers. Ihre Elektroden bestehen aus grossen Kupfermassen (Metall mit hohem Wärmeleitungsvermögen) und sind mit sorgfältig angeordneten, besonderen Kühlvorrichtungen versehen. Die Länge der Funkenstrecke, d. h. der Abstand der Elektroden beträgt Bruchteile eines Millimeters, sie ist durch eine Mikrometerschraube zu variieren. Der hierdurch entstehende „Mikrofunke" ist es gerade, welcher den viel grösseren Nutzeffekt und die grössere Betriebssicherheit verbürgt als sein langer, geräuschvoller Genosse bei der d'Arsonvalapparatur. Der Zischfunke zeigt ein ganz besonders erspriessliches Gedeihen in einer Atmosphäre von gut wärmeleitenden Gasen, Kohlenwasserstoff- und Wasserstoffatmosphäre [wir erreichen dies durch Papier- (Lepelpatent) oder Alkoholverbrennung in der Funkenstrecke].

Kurze Zusammenfassung des Prinzipes des Wienschen Hochfrequenzerregers:

1. Rasches und vollkommenes Uberwandern der primär erzeugten Energie auf den Sekundär(Therapie)-Kreis. [Darum feste Kupplung von I und II.]

2. Rasche Entionisierung der Funkenstrecke nach erfolgtem Funkenüberschlag durch die energische Kühlwirkung der Kupferelektroden und der H_2-Atmosphäre. Dadurch rasches Erlöschen der primären Funken. Im kritischen Moment findet die zum Rückfluten in den Primärkreis sich anstellende Sekundärenergie die leitende Funkenbrücke bereits erloschen und bleibt so in toto dem Sekundärkreis (Therapiekreis) erhalten.

3. Vermeidung von Schwebungen zwischen Oszillator und Resonator, welche den Nutzeffekt abschwächen würden.

4. Dank der kleinen Funkenstrecke erreicht die Kondensatorspannung sehr oft pro Sekunde die Überschlagsspannung der Funkenstrecke und nicht nur beim Maximmum der Wechselspannung des Speisestromes. [Partialentladungen.] Hierdurch ermöglicht sich die für Diathermie günstige hohe primäre Funkenzahl, bis 20000 pro Sekunde, welcher ebenso viele primäre und sekundäre Wellenzüge s. Schwingungsgruppen entsprechen.

Die Form der Hochfrequenzenergie bei Diathermie: (Bei Wienschem Schwingungserzeuger.)

Wenig gedämpfte, kontinuierliche Wellenzüge wie sie Prof. Diesselhorst in seinen bekannten Oszillogrammen bei Stosserzeugung photographisch fixiert hat, haben zur Bedingung, dass dem Resonanzkreis wenig Energie entzogen wird; das steht aber mit der Ausübung von Diathermie, welche eben Energieverbrauch bedeutet, in Widerspruch. **Diathermie mit „ungedämpften" oder wenig gedämpften Wellenzügen gibt es bis heute nicht** und sie ist praktisch auch gar kein Bedürfnis.

Fig. 19a. **Oszillogramm** eines M. Wienschen Hochfrequenzerregers bei Stosserregung. (Im Sekundärsystem kein Energieentzug, wenig gedämpfter Schwingungsverlauf, bei Diathermie nie der Fall.) Aus Graf Arco[1]): „Das neue Telefunkensystem".

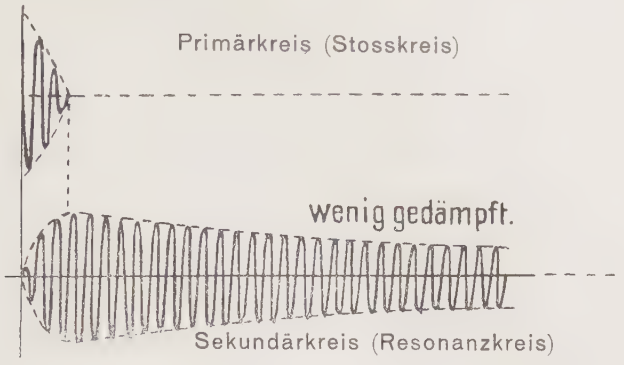


Fig. 19b. Wahrscheinliche Stromkurve eines Diathermieapparates von Wienschem System, bei hohem therapeutischem Energieentzug im Sekundärsystem.

Wären die Bedingungen für Stosserregung (geringer Widerstand im Resonnanzkreis) bei der Diathermie erfüllt, so würde der Sekundärkreis nach jedem primären Funkenstoss fast ungedämpft, mit wenig abnehmenden Amplituden weiterschwingen bis zum folgenden I. Funkenstoss. Nun wird aber der Sekundär(Therapie)-Kreis wegen des hohen eingeschalteten Körperwiderstandes wahrscheinlich überhaupt „aperiodisch", d. h. ohne eigenes Schwingungsvermögen. Er schwingt wahrscheinlich nur solange mit, wie der Primärkreis (Stosskreis) in ihm Energie direkt induziert, also nur während der Dauer des primären Funkenstosses i. e. des primären Wellenzuges. Letzterer verläuft aber seinem Prinzipe nach (Löschfunken) kurz und sehr stark gedämpft, mit rasch abnehmenden Amplituden. Wir sehen hieraus, dass bei der Diathermie der Energiestrom im Therapiekreis, in kurzen, scharfen, stark gedämpften Wellenzügen (Schwingungsgruppen) verlaufen muss, also ein diskontinuierlicher ist, ähnlich dem der d'Arsonvalströme. Allerdings ist die Regelmässigkeit des Energiespieles hier eine ganz andere. Zwischen den kurzen Wellenzügen liegen lange stromlose Pausen.

Die Raschheit, mit der sich diese stromführenden Wellenzüge folgen, hängt ab von der Raschheit der Funkenfolge in der Funkenstrecke, von der sogenannten **Funkenzahl** pro Sekunde; diese lässt sich für jeden Apparat leicht auf photographischem Wege bestimmen. Herr Renz (Reiniger, Gebbert & Schall) hatte die Liebenswürdigkeit, mir eine Originalaufnahme von einem Apparat neuesten Typus mit der Funkenzahl 20000 zu übermitteln.

[1]) Graf Arco, „Das neue Telefunkensystem". Elektrotech. Zeitschr., Heft 23 u. 24, 1909 und Jahrbuch für drahtlose Telegraphie und Telephonie, Bd. 2, 1909, Heft 6.

Zur Bedeutung der Funkenzahl eines Diathermieapparates.

(Sie ist nicht zu verwechseln mit der Frequenz, die 1—3000000 beträgt und die von der Raschheit des Polwechsels der Schwingungen abhängt.) Die Funkenzahl, im Maximum bis jetzt 20000, entspricht der Zahl der hochfrequenten Wellenzüge pro Sekunde.

1. Hohe Werte derselben garantieren regelmässigen Gang der Apparatur trotz starkem Energieentzug.

2. Hohe Werte sind günstig zur Vermeidung faradischer Nervenerregung durch die Diathermieströme bei hohen Stromstärken. Je grösser die Funkenzahl, um so mehr Wellenzüge pro Sekunde, um so mehr verteilt sich bei gegebener Gesamtstromstärke (0,5—5 Ampère.) die Energie auf einzelne Wellenzüge, um so kleiner also die Elektrizitätsmenge pro Halbwelle, die ja nach Nernst neben der Raschheit des Polwechsels massgebend ist für das Zustandekommen faradischer Nervenerregung.

Fassen wir zusammen, so können wir sagen, dass die Diathermieströme vor allem ausgezeichnet sind durch ihre hohe Stromstärke (0,5—5 Ampère), wir können sie als **Intensitätshochfrequenz** bezeichnen im Gegensatz zu den d'Arsonvalströmen: der **Hochspannungs**hochfrequenz.

Ihre Spannung ist niedrig (200—700 Volt), deshalb geringe Gefahr der Funkenbildung.

Der Schwingungsverlauf ist diskontinuierlich, stark gedämpft, die stromführende Periode im Maximum $10\,^0/_0$, die stromlose $90\,^0/_0$ der Zeit.

Die Funkenzahl und damit die Zahl der Wellenzüge i. e. Schwingungsgruppen beträgt bis 20000 pro Sekunde.

Die Frequenz (Raschheit des Polwechsels) beträgt 1—3000000 pro Sekunde.

Die physiologischen Wirkungen der Diathermie.

Bezüglich der Allgemeinwirkungen der Hochfrequenzströme im Tierkörper verweise ich auf das bei den d'Arsonvalströmen Gesagte.

Die Diathermie ist im wesentlichen nur **Thermo**therapie, dies betont auch A. Schittenhelm[1]) in seiner neuerdings erschienenen experimentellen Arbeit.

Die eigentliche physiologische Diathermieforschung ist zurzeit noch in den Anfängen, und damit sind leider die Grundlagen für die erfolgreiche klinische Anwendung noch sehr lückenhaft.

Wir haben vor allem zu unterscheiden zwischen allgemeiner und lokaler Diathermie.

a) Allgemeine Diathermie.

Sie kann ausgeführt werden dadurch, dass man den gesamten Organismus (Tier oder Mensch) auf das Kondensatorbett legt, oder indem man grosse Elektroden verwendet, dieselben in weitem Abstand voneinander auf die Haut legt und hohe Stromstärken durchgehen lässt. Je kleiner die Masse und die Wärmekapazität des so behandelten Organismus, um so rascher die Erwärmung, und zwar stellt sich bei dieser Anordnung gleich eine allgemeine Hyperthermie ein, die Bluttemperatur, die Rektaltemperatur und die Temperatur der Gewebe steigen gleichmässig an, ohne dass ein grösseres Temperaturgefälle zwischen dem direkt betroffenen Gewebe und dem Gesamtorganismus entsteht.

Zimmern, Turchini[2]) und A. Schittenhelm[3]) haben die Wirkung intensiver allgemeiner Diathermie mittels Kondensatorbett und Elektroden an grossen Hunden untersucht. Die Tiere reagierten auf grosse Wärmemengen intensiv mit ihrer physikalischen Wärmeregulation, vor

[1]) Alfred Schittenhelm, Experimentelle und klinische Untersuchungen über die Wirkung der Hochfrequenzströme. Therapeutische Monatshefte, Juni 1911.

[2]) Zimmern et Turchini, La Diathermie, Presse medicale No. 38, 1910.

[3]) A. Schittenhelm l. c.

allem trat die für den Hund charakteristische Wärmehyperpnoe auf, ein Hund von Schittenhelm zeigte bei Elektrodendiathermie von 2,2—2,3 Ampères (transthorakal und abdominal) Temperaturanstieg auf 39,2—40 nach ca. 1 Stunde 43,2° und Exitus. Beim Menschen ist eine allgemeine Temperaturerhöhung in erheblichem Grade bis jetzt noch nicht erreicht worden infolge seiner enormen Wärmekapazität. Sie ist aber mit vervollkommneter Apparatur wohl sicher zu erzielen, und wir haben hierdurch in der allgemeinen Diathermie ein Mittel, die physiologischen Studien über die Zweckmässigkeit und die Folgen der febrilen Hyperthermie unter neuen Bedingungen zu erweitern, indem hierbei im Gegensatz zu der bisherigen Methode der Wärmekasten der physikalischen Wärmeregulation völlig freies Spiel gewahrt bleibt. Über allgemeine Diathermie durch Autokonduktion liegen noch keine Erfahrungen vor.

b) Lokale Diathermie (Elektrodendiathermie).

Ihr kommt wohl für die Praxis die Hauptbedeutung zu. Wichtig wäre es, Genaues zu wissen über den Stromverlauf, die Wärme- und Temperaturtopographie, deren Abhängigkeit von den anatomischen Verhältnissen, der Lage, Grösse und dem Abstand der Elektroden, der Intensität und der Dauer des Stromdurchganges. Hierin tasten wir zum Teil noch im Dunkeln. Wertvolle Beiträge mehr theoretischer Art haben hierzu B. Walter[1]) und F. Wildermuth[2]) gebracht. Walter hat die Formeln für die Wärmebildung und die Erwärmung für den Fall der Parallelschaltung und Serienschaltung zweier Organe unter verschiedenen Bedingungen aufgestellt und Wildermuth den spezifischen Leitungswiderstand für Hochfrequenzströme von verschiedensten toten Geweben bestimmt. Zurzeit ist es noch unmöglich, sich ein genaues Bild von der Temperaturtopographie bei der lokalen Applikation, besonders beim Menschen zu entwerfen. Wir müssten gleichsam in jedem Falle den Verlauf der „Isothermen" im menschlichen Körper uns vorstellen können, um ein solides Urteil über die Wirkungsweise zu bekommen. Vor allem wird die Stromstreuung, die ja beim galvanischen Strom sehr wohl bekannt ist, in der Diathermie viel zu wenig berücksichtigt und stets mit einem beliebig zu erreichenden Tiefgang der Wärmeproduktion und Temperaturerhöhung gerechnet. Leider sind die Ergebnisse der Tierversuche in dieser Richtung für die Verhältnisse beim Menschen nur mit Vorsicht zu verwerten, da die topographisch-anatomischen Verhältnisse, das Volumen, die Masse und die gegenseitige Lage der in Frage kommenden Organe ganz andere sind bei Tier und Mensch. Die direkte Verfolgung der Erwärmung mittels Thermometrie ist beim Menschen meist nur an der Oberfläche möglich. Und doch wären die erwähnten Fragen für die Ausbildung einer erfolgreichen **Organdiathermie** von grösster Wichtigkeit. Die aussichtsreiche Organdiathermie der grossen parenchymatösen Organe (Leber, Niere usw.) scheitert zurzeit noch an der Unmöglichkeit, die Applikation des Wärmereizes in der Tiefe genügend zu lokalisieren. Ich habe in Gemeinschaft mit Herrn Dr. Markwalder die intensive Diathermie des Thorax, speziell auch des Herzens an Kaninchen studiert, wir werden hierüber an anderer Stelle eingehend berichten. Die Tiere zeigten an einem durch die Vena jugularis eingeführten Herzthermometer sehr rasch Temperaturerhöhungen auf 39°, 40° und 41° (1,5 Ampère) und gingen nach 20 Min. bis $^3/_4$ Std. an den Folgen der Hyperthermie zugrunde [bei einer Herztemperatur von nicht über 41°].

Bei jedem Einschalten des Stromes, besonders zu Anfang des Versuches, zeigten die Tiere eine initiale Blutdrucksenkung, wohl als Ausdruck der peripheren Vasodilation (physikal. Wärmeregulation). Nach kurzer Zeit hob sich der Blutdruck jeweils wieder zur Norm (kompensatorische Kontraktion der Splanchnikusgefässe).

Am Menschen beobachten wir bei der Einverleibung einer grösseren Wärmemenge durch allgemeine oder lokale Diathermie als Zeichen der vermehrten Tätigkeit der physikalischen

[1]) B. Walter, Münchn. mediz. Wochenschrift 1910, Nr. 5.

[2]) F. Wildermuth, Mitteil. a. d. Grenzgeb. d. Mediz. u. Chirurgie, 1911, Bd. 22, H. 4.

Wärmeregulation: Periphere Vasodilatation (von Schittenhelm plethysmographisch verfolgt), Schweissausbruch, oft auch Beschleunigung und Vertiefung der Atmung. Transthorakal werden vom Gesunden 2,5—3 Ampères, Elektrodengrösse 15:15 cm, während 10—15—20 Minuten gut ertragen. Dass bei infiltrierter, wenig lufthaltiger Lunge andere Erwärmungsverhältnisse eintreten, ist sehr wahrscheinlich. Ebenso wurden 2,5 Ampère, täglich 20 Minuten quer durchs Abdomen appliziert, ohne Störungen ertragen. Die histologischen Befunde an fortgesetzt diathermierten Organen fehlen noch. Behring und Meyer[1]) fanden am einmalig diathermierten Kaninchenhoden bei der am 13.—18. Tage vorgenommenen histologischen Untersuchung noch vermehrte Blutfüllung des Organs. Wichtig wäre es für alle menschlichen Organe zu wissen, welche Stromstärken und Stromdauer respektiv Temperaturgrade eben zu einer Zellschädigung führen, vor allem im Hinblick auf die Verwendung der Diathermiewärme als bakterizides Agens.

Auf die Fülle der klinischen Anwendungen, vor allem in der Behandlung entzündlicher Krankheitsprozesse, will ich hier nicht eintreten. Zu der uns hier beschäftigenden Aufgabe der Kombinationsmöglichkeit mit den X-Strahlen genügt es, das wichtigste über die derzeitigen physikalischen und physiologischen Grundlagen erörtert zu haben.

Die Diathermie als Sensibilisator für X-Strahlen.

Durch die Diathermie versetzen wir das behandelte Gewebe in Hyperthermie. Eine von Behring und Meyer auch histologisch nachgewiesene Folge dieser Hyperthermie ist ein vermehrter Blutzufluss. Diese reaktive Hyperämie, wohl aktiver Natur, und die direkte Wärmewirkung rufen in dem behandelten Zellgewebe einer Reaktion, einer Beeinflussung des Zellstoffwechsels, und zwar wahrscheinlich im Sinne eines Plus, einer Aktivierung.

H. E. Schmidt[2]) hat in den schon im ersten Teil zitierten Versuchen nachgewiesen, dass Wärmestrahlung (Glühlicht) X sensibilisierend wirkt auf der betroffenen Haut, Oberflächensensibilisierung.

Es lag nun nahe, in der Wärmewirkung der Diathermie, die ja die Eigentümlichkeit besitzt in grössere Tiefen zu dringen, den ersehnten X-Sensibilisator für tief liegende, wenig radiosensible Objekte zu suchen. Wir können uns denken, dass in dem von der Diathermie betroffenen, hyperämischen, saftdurchtränkten Gewebe eine Aktivierung des Zellstoffwechsels in einer gewissen Richtung erfolgt, welche den Röntgenstrahlen einen günstigeren Angriffspunkt verleiht. Wir erinnern uns dabei, dass umgekehrt Anämie der Gewebe wie Schwarz sie durch Kompression und Reicher und Lenz durch Adrenalin erzeugten, die Strahlenempfindlichkeit herabsetzt. Ein tieferer Einblick in die bei der X-Sensibilisierung und Desensibilisierung sich abspielenden biochemischen Vorgänge fehlt zurzeit noch völlig. Der erste, der die Diathermie in Kombination mit Röntgentherapie in einem Fall von Karzinom verwandte, ist E. v. Berndt[3]), einer der Begründer der Thermopenetration. Auch Chr. Müller[4]) machte von der Kombination von Thermopenetration und X-Strahlen bei „röntgenrefraktären" Tumoren Gebrauch, er stellte aber die d'Arsonvalströme bei der Tiefenbestrahlung wie wir sahen irrtümlicherweise in den Vordergrund. Müller beobachtete, wie oft die Thermopenetration das X-refraktäre Stadium überwinden half und wenig radiosensible Tumoren unter ihrem Einfluss auf die Röntgentherapie reagierten. In neuester Zeit haben Behring und Meyer[5]) die Wirkung der Kombination von Diathermie und X-Strahlen auf den Kaninchenhoden experimentell untersucht. Als sehr bemerkenswertes Resultat geht aus ihren Untersuchungen hervor, dass die Röntgenreaktion quantitativ am kombiniert behandelten Hoden (Histologischer Befund am

[1]) Behring und Meyer, Münch. med. Woch. Nr. 19. 1911.
[2]) H. E. Schmidt l. c.
[3]) E. v. Berndt, Zeitschrift für physikal. u. diätetische Therapie Bd 13, S. 167.
[4]) Chr. Müller l. c.
[5]) Fr. Behring u. H. Meyer, l. c.

13.—16. Tag nach einmaliger Sitzung) stets sich verstärkt zeigt, dass aber diese Verstärkung vor allem dann ausgesprochen zutage tritt, wenn die Hoden mit kleinen Strahlendosen (2 X) bedacht werden, die ohne Diathermie nur geringe Gewebsreaktion erzeugen. (Ein ähnliches Verhalten beobachtete ich [siehe 1. Teil) bei der Hautsensibilisierung durch die hochfrequenten Kondensationsfunken.) Die genannten Autoren betonen mit Recht, dass nach den Ergebnissen ihrer Kaninchenversuche die Kombination mit Diathermie vor allem die untere Grenze der X-Strahlenwirkung erweitert, dass die Diathermie einen X-Sensibilisator vor allem in bezug auf die Elektivwirkung der Röntgenstrahlen darstelle. So bemerkenswert diese Befunde sind, so lassen sie sich nicht ohne weiteres auf menschliches Gewebe und vor allem auf das punkto Radiosensibilität so mannigfache Variationen darbietende Gewebe der malignen Tumoren übertragen. Doch ergibt sich hieraus ein Fingerzeig, in welcher Richtung wir in der röntgentherapeutischen Praxis von der Diathermie am meisten erwarten dürfen: Sensibilisierung wenig X-empfindlicher, subkutan gelegener Objekte.

Ich habe in zahlreichen Fällen am Menschen die Diathermie als Methode der Tiefensensibilisierung für Röntgenstrahlen experimentell studiert und möchte darüber kurz zusammenfassend folgendes bemerken:

Wir schicken die Diathermie der Röntgenstrahlensitzung kurz voraus, Diathermie nach erfolgter X-Belichtung scheint mir (zum selben Resultat kommen auch Behring und Meyer auf Grund ihrer Tierversuche) wenig sensibilisierende Wirkung zu haben, ebenso die Diathermie im röntgenfreien Intervall. Die Durchwärmung des später X zu bestrahlenden Objektes erfolgt durch lokale Diathermie, bipolare Stromabnahme vom Resonanzkreis eines Intensivhochfrequenzerzeugers. Die Diathermieströme treten durch zwei gut mit NaCl-Lösung befeuchtete, sorgfältig auszuwählende Schwamm- oder Mooselektroden durch die Haut hindurch in das Gewebe. Die Konstruktion geeigneter Elektroden ist zurzeit noch eine Crux des Praktikers. Bei den meisten Formen erhitzt sich die unterliegende Haut viel zu rasch, lange bevor es zu einer eigentlichen Thermopenetration, d. h. Erwärmung der Tiefe gekommen ist. Die kontaktgebende Haut selbst muss wiederholt tüchtig mit NaCl-Lösung durchfeuchtet werden Die Grösse der Elektrode passt man dem Volumen des vorliegenden Objektes an, es ist vorteilhaft sie grösser zu wählen als dem grössten Durchmesser des Objektes (z. B. einem Tumor) entspräche, je weiter das Objekt von der Haut entfernt liegt, um so grösser wählt man die Elektroden, die am häufigsten verwendeten Grössen sind 10:10 cm und 10:15 cm.

Man legt die Elektroden so auf die Haut, dass das zu durchwärmende Objekt in den sog. interpolaren Raum zu liegen kommt, d. h. der Gewebssäule angehört, welche durch die geradlinige Verbindung der Kanten beider Elektroden herausgeschnitten würde. Je oberflächlicher das Objekt liegt, um so leichter gelingt die Durchhitzung. Je näher eine Gewebspartie der Elektrodenfläche liegt, um so intensiver ihre Erwärmung (abhängig von der Stromdichte). Wir müssen deshalb bestrebt sein beide Elektroden möglichst dem Objekte zu nähern. Wie wir noch besprechen werden, haben wir aber dabei auf die Vermeidung der Sensibilisierung der Haut zu achten. Die praktisch wichtige „Wärmetopographie“ und „Temperaturtopographie“ bei lokaler Diathermie ist zurzeit eben noch Gegenstand unserer weiteren Untersuchungen. Jedenfalls aber dürfen wir bei der Diathermie nicht auf eine Penetration der Wärme in beliebige Tiefen rechnen, die wir nach Willkür ohne weiteres in die einzelnen Organe dirigieren können. Schon wenige Zentimeter unter der Hautelektrode zeigt jeder elektrische Strom, auch die Hochfrequenz, eine bedeutende Streuung und Abnahme der Dichte. Wir können mittels Hautelektroden und faradischem Strom auch nicht in jeder beliebigen Tiefe einen Muskel zucken lassen. Die Stromtopographie und Stromdichteverhältnisse können wir praktisch ohne Fehler für konstanten, faradischen und hochfrequenten (Diathermie) Strom als identisch betrachten. Die Stromdichte (Ampèrezahl pro cm^2) einer bestimmten Gewebspartie ist im wesentlichen massgebend für die Wärmebildung und die Erwärmung.

$$Q = J^2 W \cdot t \cdot 0{,}24 \text{ gr calor.}$$ (Joulesche Formel.)

Eine Rolle spielen auch noch die spezifische Wärme und der spezifische Leitungswiderstand der durchflossenen Gewebsteile.

Dosierung der Diathermie:

Zur Sensibilisierung für X-Strahlen erstreben wir sog. Reiz-Diathermie, Erhitzung der Gewebe auf ca 40°—45°—50°, zum Unterschied von der Elektrokoagulation (Doyen), Elektrokaustik (Ccerny[1]) oder Intensivthermopenetration (Werner und Caan[2]), bei der es zu Temperaturen bis 100° und zu einer Gerinnung und Nekrose der Gewebe kommt. Letzteres Verfahren ist natürlich nur in Lokalanästhesie oder Narkose anwendbar. Der beste Indikator für die Diathermiedosierung ist bisher die Haut unter den Elektroden. Da sie stets **höhere Temperatur als irgendeine Gewebspartie in der Tiefe** zeigt, so setzen wir die Durchwärmung so lange fort bis der Patient das Wärmegefühl unter den Elektroden unangenehm empfindet. In gewissen Fällen ist es möglich, dass subkutan gelegene Gebilde z. B. direkt unter der Elektrodenhaut liegender, seriengeschalteter Knochen noch höhere Temperaturen erreicht, doch bilden diese Fälle die Ausnahme.

Um einige orientierende Daten zu geben, so bemerke ich, dass bei einer Elektrodenfläche von 150 cm^2 die Diathermie des Kniegelenkes mit 0,8—1,5 Ampère ca. 15—20 Minuten braucht.

Nach kurzen, stromlosen Pausen zur Befeuchtung der Elektroden wird die Diathermie wiederholt, bis die mit den Elektroden in Kontakt gelegene Hautregion sich recht heiss anfühlt. Die Ströme werden durch Änderung der Lage der Elektroden in möglichst vielen Richtungen durch das Objekt hindurchgeschickt. (Diathermie-Kreuzfeuer.) Am Schluss wird, wo es wegen der anatomischen Verhältnisse angeht, die diathermierte Region mit einer Wattepackung versehen zur möglichsten Konservierung der einverleibten Wärme. Selbstverständlich wird trotzdem der Blutstrom durch „Wärmetransport" die lokale Temperaturerhöhung mit der Zeit vernichten, und die einverleibte therapeutische Wärme erleidet ein analoges Schicksal wie ein subkutan eingespritztes Medikament, sie wird dank dem Vehikel des Blutstromes ausgeschieden. (Durch die physikalische Wärmeregulation.)

An die Diathermieapplikation direkt angeschlossen wird nun die Röntgenisierung.

Wichtig ist hierbei nun die spezielle Beachtung der Haut. Nach meinen experimentellen Untersuchungen am Menschen wird nämlich diejenige Hautpartie, die während der Diathermie direkt mit den Elektroden in Kontakt war, für die nachfolgenden X-Strahlen bedeutend empfindlicher, also sensibilisiert. Sie zeigte schon Röntgenreaktion unter $^3/_4$ E.-D. (bei 3,8 H). Was wir mit der Diathermie bezwecken, ist aber die Sensibilisierung der Tiefe ohne gleichzeitige Sensibilisierung der Haut. Wir haben deshalb folgende Vorsichtsmassregeln anzuwenden:

a) Die Lage der Elektroden wird so gewählt, dass sie ausserhalb des X-Strahlenkegels der Haut aufliegen. Die Richtung der Diathermieströme und der nachfolgenden Röntgenstrahlen stehen senkrecht zueinander. Die Kontaktstellen der Haut mit den Diathermieelektroden werden während der X-Strahlenapplikation mit Bleiplatten abgedeckt. Ein Nachteil stellt sich hierdurch ein, wir müssen die Elektroden weiter vom Bestrahlungsobjekt entfernen. Die interpolar gelegene Haut erwärmt sich auch hierbei etwas, doch nach meinen Erfahrungen zu unbedeutend, um eine wahrnehmbare X-Sensibilisierung zu erleiden.

b) Wir versuchen die durch die Elektroden sensibilisierte Hautpartie durch nachfolgende Adrenalininjektion zu desensibilisieren. (Nach Reicher und Lenz.)

Die günstige Tiefenwirkung der Kombination von Diathermie und X-Strahlen bei malignen Tumoren (von relativ oberflächlicher Lage) konnte ich in einigen Fällen experimentell

[1]) V. Ccerny, Deutsche med. Wochenschr. 1911. Nr. 11.

[2]) Werner und Caan, Münch. med. Wochenschrift. 1911. Nr. 23.

verfolgen. Ich diathermierte nur die eine Hälfte eines faustgrossen, subkutan gelegenen Mammakarzinoms (Rezidiv), exponierte gleich daran anschliessend den ganzen Tumor mit einer Erythemdosis Röntgenlicht. Nach ca. 14 Tagen war auf der diathermierten Tumorhälfte eine deutliche Volumverminderung und weichere Konsistenz gegenüber der mit X allein behandelten anderen Hälfte zu beobachten.

Indikationen.

Die Diathermie allein, in besprochener Form (nicht als sog. Elektrokoagulation) bei malignen Tumoren anzuwenden, davor möchte ich auf Grund eigener Erfahrungen warnen. Die Diathermie kann in dieser Form ja sehr leicht einen Wachstumsreiz für das maligne Gewebe bedeuten und sollte hier nur in Kombination mit dem nachfolgenden zelldestruierenden Mittel der X-Strahlen angewendet werden.

Unsere Erfahrungen und Erkenntnisse bezüglich Diathermie überhaupt sowie diejenigen über ihre Anwendung zur Tiefensensibilisierung für X-Strahlen sind bisher viel zu gering als dass sich die praktische Bedeutung der Methode genau präzisieren liesse. Immerhin ist es zu empfehlen, in allen Fällen, wo die einfache Röntgentherapie wegen ausgesprochen geringer Radiosensibilität versagt und bei Objekten, die nicht allzuweit von der Haut abliegen, einen Versuch mit Diathermiesensibilisierung zu machen. Dann ist die Kombination vor allem auch in den Fällen anzuraten, wo Röntgentherapie und Diathermie allein schon Erfolge verzeichnen: Tuberkulöse Peritonitis, Tuberk. Lymphome, Arthritis tuberkulosa, chronischer Gelenkrheumatismus, schwere Neuralgien. Eines Versuches wert ist auch die Lungenspitzentuberkulose, die für lokale Diathermie topographisch allerdings nicht ganz einfache Verhältnisse darbietet.

Druck von Hesse & Becker in Leipzig.